

# Kalkkikivijauheen laadun vaikutus asfalttipäällysteen ominaisuuksiin



Tielaitoksen  
selvityksiä

37/1997

Helsinki 1997

Tiehallinto  
Tie- ja liikenne-  
tekniikka

Tielaitoksen selvityksiä  
37/1997

Risto Alkio

## **Kalkkikivijauheen laadun vaikutus asfalttipäällysteen ominaisuuksiin**

**Tielaitos**  
Tiehallinto, liikenne- ja tiestötiedot

Helsinki 1997

ISSN 0788-3722  
ISBN 951-726-369-4  
TIEL 3200483  
Oy Edita Ab  
Helsinki 1998

Julkaisun kustannus ja myynti:  
Tielaitos, hallintopalvelut,  
painotuotemyynti  
Telefaksi 0204 44 2202

Joutsenmerkin arvoinen paperi

**Tielaitos**  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puh. vaihde 0204 44 150

## TIIVISTELMÄ

Tutkimus käsitteli erikseen lisättävän kalkkikivitäytejauheen ominaisuuksista lähinnä rakeisuuden ja liukoisuuden suolahappoon vaikutusta päällysteen sideainepitoisuuteen ja tiivistettävyyteen sekä veden- ja suolankeston.

Tutkimukseen valittiin neljä rakeisuudeltaan toisistaan poikkeavaa kalsiittista kalkkikivijauhetta ja kolme liukoisuudeltaan suolahappoon toisistaan poikkeavaa dolomiittista kalkkikivijauhetta. Täytejauheista määritettiin kiintotiheys, ominaispinta-ala, tyhjätila ja liukoisuus suolahappoon sekä rakeisuus pesuseulonnalla ja areometrillä.

Kaikista kalkkikivijauheista tilavuussuhteitettiin SMA 16-massat. Päällystelaatoista porattiin näytteet, joista tehtiin 6 kuukauden ilma-, vesi- ja suolavesisäilytyksen jälkeen halkaisuvetolujuuuskokeet.

Päällysteen veden- ja suolankeston vaikuttivat erikseen lisättävänä täytejauheena olevan kalkkikivijauheen ominaisuuksista eniten liukoisuusarvo suolahappoon ja rakeisuus. Liukoisuusarvon tulee olla riittävä takaamaan kalkkikivijauheen kiviaineksen ja bitumisen sideaineen välistä tartuntaa parantava vaikutus

Veden- ja suolankestävyys olivat sitä paremmat, mitä hienompaa kalkkikivijauhe oli. Hienousastetta ilmensi parhaiten 0,002 mm läpäisyarvo. Kalkkikivijauheen ominaispinta-alalla ei ollut vaikutusta päällysteen veden- ja suolankeston. Sen sijaan se vaikuttaa ennen kaikkea sideainepitoisuuteen.

Päällysteen sideainepitoisuus korreloi parhaiten kalkkikivijauheen hienoaineksen ominaispinta-alan, tyhjätilan ja alle 0,002 mm osuuden kanssa.

Kalkkikivijauheet käyttäytyivät yksilöllisesti massassa. Niiden vaikutukset olivat ominaisuuksien summa, joten toimivuutta ei voida arvioida suoraan määritettyjen ominaisuusarvojen perusteella.



**Keywords** asphalt pavements, filler

## ABSTRACT

The aim of this study was to determine the effect of limestone filler properties on binder content, compactibility, water sensitivity and salt water sensitivity of stone mastic asphalt (SMA 16). The most important filler properties of this study were grain size distribution and solubility to hydrochloric acid

Seven different kind of limestone fillers were chosen to laboratory tests. Four of them were calcitic fillers of different grain size distribution and three of them were dolomitic fillers of different solubility to hydrochloric acid. Particle density, grain size distribution (wet sieving and hydrometer), solubility to hydrochloric acid, specific surface area and voids of dry compacted filler were measured.

Stone mastic asphalts with seven different limestone fillers were proportioned based on volumetric properties. Core samples of these different asphalts were drilled to test indirect tensile strength. Core samples were stored six months either in water, in salt water or at normal laboratory conditions.

The most important properties of limestone fillers concerning water sensitivity and salt water sensitivity of asphalt samples were solubility to hydrochloric acid and grain size distribution. Solubility should be sufficient to ensure the improving effect of limestone filler to adhesion between mineral aggregate and binder.

The water sensitivity of asphalt samples was improved by increasing amount of the finest material ( $< 0,002$  mm) of limestone filler. Specific surface area of filler didn't effect the water sensitivity and salt water sensitivity of asphalt. On the other hand, specific surface area affects the binder content of asphalt.

The binder content of asphalt was also affected by the amount of voids and fine material ( $< 0,002$  mm) of filler.

## ALKUSANAT

Suomessa on tehty viime vuosina asfalttipäällystetutkimuksessa laajaa tutkimus- ja kehitystyötä. Työn tuloksena on saatu runsaasti uutta tietoa, jota on voitu hyödyntää suunnitteluun, tuotantoon ja laadunohjaukseen liittyvissä ohjeissa ja Asfalttinormien uudistamisessa. Normien tarkoituksena on antaa suunnittelijoille mahdollisuus valita useista vaihtoehtoisista materiaaleista ja ratkaisumalleista lopputuloksen kannalta taloudellisin ja toimivin ratkaisu. Toteutuksen kannalta on tunnettava asfalttipäällysteen komponenttien ominaisuudet ja niiden vaikutus massan ominaisuuksiin.

Tutkimus käsittelee kalkkikivijauheen ominaisuuksien vaikutusta asfalttipäällysteen suhteitukseen sekä veden- ja suolankesto-ominaisuuksiin. Tuloksia on tarkoitus hyödyntää Asfalttinormeja tarkistettaessa. Tutkimuksen tilaajina olivat Nordkalk Oy Ab, Saxo Oy ja Tielaitoksen tie- ja liikennetekniikka. Tutkimusta valvoivat kehitysinsinööri *Kari Kuusipuro* (Nordkalk Oy), tehdaspäällikkö *Jaakko-Pekka Perttula* (Saxo Oy) ja tieinsinööri *Mats Reihe* (Tielaitos). Tutkimuksen vastuuhenkilönä Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen yhdyskuntatekniikan tutkimusyksikössä oli erikoistutkija *Risto Alkio*. Raportin ovat laatineet erikoistutkija *Risto Alkio* ja tutkija *Jarmo Vuorinen*. Laboratoriotöistä on vastannut rakennusmestari *Jorma Salonen*.

Helsingissä joulukuussa 1997

*Tielaitos*

*Tie- ja liikennetekniikka*

---

## SISÄLTÖ

---

1 JOHDANTO	9
2 MATERIAALIT	10
3 LABORATORIOKOKKEET	11
3.1 Hienoaineskokeet	11
3.2 Suhteitus	12
3.3 Veden- ja suolankesto	13
4 KOKEIDEN TULOKSET	14
4.1 Kalkkikivijauheiden ominaisuudet	14
4.2 Suhteitus	18
4.3 Veden- ja suolankesto	28
5 TULOSTEN TARKASTELU	32
5.1 Kalkkikivijauheiden ominaisuudet	32
5.2 Suhteitus	35
5.3 Veden- ja suolankesto	39
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	48
7 LIITTEET	50

## 1 JOHDANTO

Asfalttipäällystekiviaines koostuu karkeasta, kulutusta kestävästä osasta ja hienoainesosasta, jolla on suuri merkitys päällysteen toiminnallisiin ominaisuuksiin. Hienoaines voi olla murskauksessa syntynyttä hienoainesta tai erikseen lisättävää täytejauhetta. Täytejauheen tarkoituksena voi olla vain täyttää hienoainesvajausta tai sillä voidaan lisäksi parantaa päällysteen suhteitus- ja toiminnallisia ominaisuuksia.

Kalkkikivijauhetta on perinteisesti käytetty asfalttipäällysteen täytejauheena sen hyvän saatavuuden ja tasalaatuisuuden sekä kiviaineksen ja bitumin välistä tartuntaa parantavan vaikutuksen vuoksi. Hienoaineksille on asetettu vaatimuksia rakeisuuden, tyhjätilan, ominaispinta-alan, puhtauden ja tarttuvuuden suhteen. Lisäksi kalkkikivijauheelle on asetettu laatukontrolliksi liukoisuusvaatimus suolahappoon.

Asfalttipäällysteen suhteituksessa on siirrytty tai ollaan siirtymässä ennakkosuhteitukseen, jossa tulevaan päällysteeseen käytettävillä materiaaleilla tehdään tilavuuspohjainen ennakkosuhteitus. Siinä selvitetään käytettävien laitteiden optimimäärät sekä toimivuus päällysteessä ja optimisideainepitoisuus. Näin ollen esim. hienoaineksen yksittäiset ominaisuudet eivät ole ratkaisevia, vaan sen toimivuus kokonaisuutena. Tämä antaa mahdollisuuden muuttaa käsitystä hienoainesvaatimusten raja-arvoista toimivuuden osoittamiseen.



## 2 MATERIAALIT

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää erikseen lisättävänä täytejauheena olevan kalkkikivijauheen rakeisuuden ja liukoisuuden suolahappoon vaikutus asfalttimassan ominaisuuksiin. Nordkalk Oy Ab toimitti neljä rakeisuudeltaan erilaista kalsiittista kalkkikivijauhetta. Kalkkikivijauheet on merkitty tunnuksin N1, N1A, N2 ja N3, joista N2 on normaalituotannossa syntyvä kaupallinen asfalttipäällysteen täytejauhe. Saxo Oy toimitti kolme liukoisuudeltaan erilaista dolomiittista kalkkikivijauhetta, jotka on merkitty tunnuksin S1, S2 ja S6.

Karkeana kiviaineksena oli Teiskon granodioriitti. Massan suhteituksessa käytettiin karkean kiviaineksen lajitteita 0 - 3, 4 - 8, 6 - 12 ja 12 - 16 mm.

### 3 LABORATORIOKokeet

#### 3.1 Hienoaineskokeet

Kalkkikivijauheista määritettiin Asfalttinormien 1995 mukaiset ominaisuudet, joita ovat rakeisuus, tyhjätila, ominaispinta-ala ja liukoisuus suolahappoon sekä kiintotiheys. Kiintotiheys on määritetty kahdella rinnakkaisnäytteellä menetelmän PANK 2107 mukaisesti. Tätä pyknometrimenetelmällä saatua kiintotiheyttä on käytetty määrittäessä ominaispinta-alaa, tyhjätilaa ja rakeisuutta areometrillä.

Ominaispinta-alalla tarkoitetaan näytteen rakeiden yhteenlaskettua pinta-alaa massayksikköä kohti. Ominaispinta-ala on määritetty typpiadsorptio-menetelmän PANK 2401 mukaisesti (3-piste menetelmä). Menetelmässä kuivattuun näytteeseen adsorboidaan nestemäisen typen lämpötilassa (-196 °C) typpikaasua. Adsorboituneen typen määrän avulla lasketaan näytteen pinta-ala olettamalla, että näytteen pinnalla on yhden molekyylin vahvuinen typpikerros. Asfalttipäällysteessä hienoaineksen ominaispinta-alalla on vaikutusta mm. sideainepitoisuuteen ja tiivistettävyyteen. Asfalttinormien mukaan hienoainesseoksen ominaispinta-alan tulisi olla välillä 1000 - 5000 m<sup>2</sup>/kg eli 1 - 5 m<sup>2</sup>/g.

Hienoaineksen tyhjätila ilmoittaa tilavuusprosentteina näytteen sisältämien huokosten määrän standardikokeessa (PANK 2404). Tyhjätila määritetään ns. Rigden-laitteella. Laitteen sylinteriin laitettu noin 10 g näyte tiivistetään vapaasti putoavan sylinterikappaleen ja männän avulla. Sadan pudotusker-  
ran jälkeen mitataan tiivistetyn materiaalin korkeus. Materiaalin tilavuuden, massan ja kiintotiheyden avulla lasketaan näytteen tyhjätila. Hienoaineksen tyhjätila on tärkeä suhteitustekijä ja sen tulisi olla välillä 36 - 44 %.

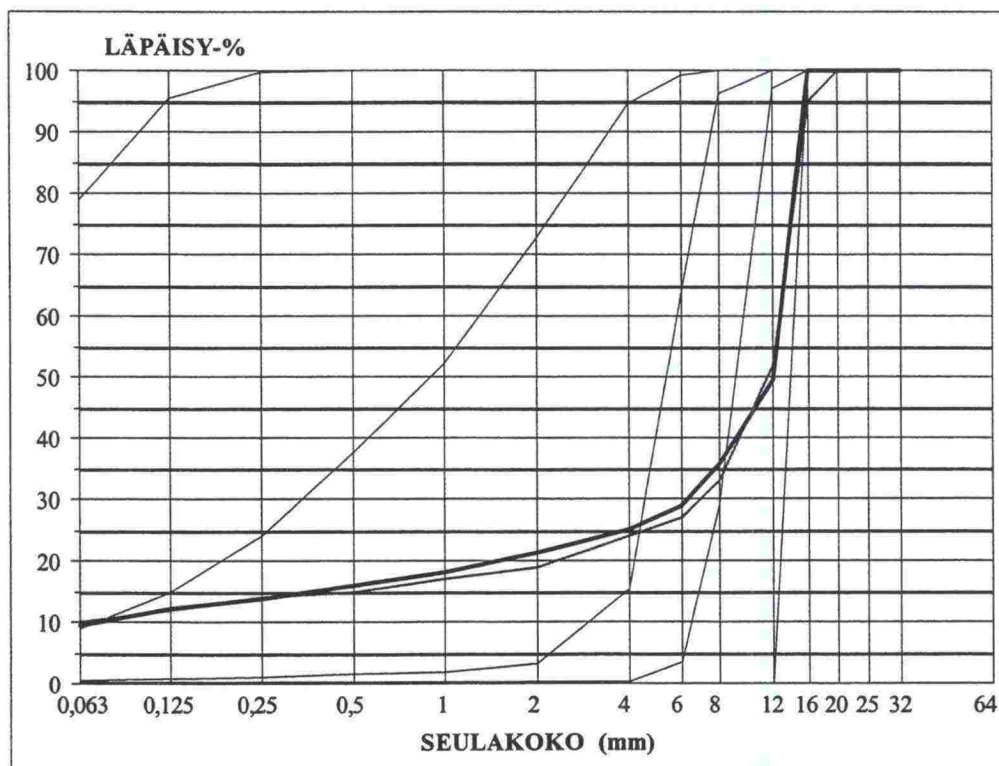
Kalkkikivijauheiden rakeisuus on määritetty pesuseulonnan (PANK 2102) ja areometrikokeen eli hydrometrikokeen avulla (PANK 2103). Areometrikoe on tehty sekä alkuperäisistä näytteistä että niiden alle 0,063 mm ainekses-  
ta. Asfalttinormien 1995 mukaan hienoaines saa sisältää enintään 10 % < 0,002 mm:n ainesta. Hienoaineksen rakeisuudella on vaikutusta massan suhteitus- ja työstettävyyssominaisuuksiin.

Kalkkikivijauheiden liukoisuus suolahappoon määritettiin menetelmän PANK 2405 mukaisesti. Kalkkikivitäytejauheiden tehtävänä päällystemassassa on täyttää kiviaineksen hienoaineseväjäs ja parantaa kiviaineksen ja bitumisen sideaineen välistä tartuntaa, jolla on suuri merkitys päällysteen pitkäaikais-  
kestävyyteen. Liukoisuudella suolahappoon varmistetaan täytejauheen laatu. Asfalttinormien mukaan liukoisuuden suolahappoon tulisi olla > 80 % ja tielaitoksen uusimpien vaatimusten mukaan > 75 %.

### 3.2 Suhteitus

Koemassaksi valittiin SMA 16-massa. Kiviaineksena oli Teiskon granodio-riitti ja side-aineena bitumi B-80. Lisäaineena massassa oli sellukuitu (Arbocel), jota käytettiin 0,4 % kiviaineksen painosta. Kiviaineslajitteiden rakeisuuskäyrät ja SMA 16-kiviaines-käyrä on esitetty kuvassa 1. Kalkkikivijauheen määrä massassa riippuu sen rakeisuus-desta ja hienoainesominaisuuksista. Nordkalk Oy:n kalkkikivijauheiden, joiden rakeisuus vaihteli keskenään, määrät massassa olivat välillä 8,2 - 15,4 % ja liukoisuudeltaan erilaisten Saxo Oy:n kalkkikivijauheiden määrät olivat välillä 10,0 - 10,7 % kiviaineksen painosta. Massojen suhteituksessa pyritään siihen, että massojen toiminnalliset ominaisuudet ovat keskenään samanlaiset.

Kalkkikivimassojen jauheiden vaikutus massojen suhteitukseen ja tiivistettävyyteen testattiin ICT-kiertotiivistimellä, jossa sylinterissä olevaa massaa tiivistetään pyörivässä liikkeessä olevan männän avulla. Tarvittava tiivistystyö ilmoitetaan leikkausjännityksenä  $\text{kN/m}^2$ , joka kuvaa massan muodonmuutoksen vastustuskykyä tiivistyskokeessa. Leikkausjännitykset määritetään yleensä 102 ja 406 kierroksen jälkeen. Jokaisella massalla tiivistyskoe tehtiin vähintään kolmella eri sideainepitoisuudella. Lähtösideainepitoisuudet valittiin aikaisempien suhteitusten ja kokeiden perusteella. Näytteistä määritettiin massan tiheys (PANK 4108), koekappaleen tiheys (PANK 4110), tyhjätila, kiviaineksen tyhjätila ja sideaineen täyttöaste (PANK 4114). Tulosten perusteella valittiin massat vedenkestokokeisiin.



Kuva 1. Kokeessa käytetty SMA 16-massan kiviaineskäyrä ja lajitteiden rakeisuudet.



### 3.3 Veden- ja suolankesto

Bitumisen sideaineen ja kiviaineksen väliseen tartuntaan vaikuttaa epäpuhtauksien lisäksi voimakkaasti kiviaineksen fysikaalis-kemiallinen luonne. Karkean kiviaineksen ja hienoaineksen mineraalikoostumuksella sekä hienoaineksen kemiallisella koostumuksella on ratkaiseva vaikutus tartuntaan. Varsinkin runsaasti kalimaasälpää sisältävillä kiviaineksilla on luonnostaan huono tartunta sideaineen kanssa ja siten myös huono vedenkestävyys.

Kalkkikivijauheiden vaikutusta asfalttimassojen vedenkestävyyteen tutkittiin ilma-, vesi- ja suolavesisäilytteisillä koekappaleilla halkaisuvetokokeen (PANK 4202) avulla. Tutkimukseen valitulla karkealla kiviaineksella, graniidoriittillä on todettu olevan melko huonot tartuntaominaisuudet.

Massoista valmistetuista laatoista porattiin halkaisijaltaan 100 mm koekappaleet. Koekappaleista osaa säilytettiin vesisäilytyksessä ja osaa kolme prosenttisessa suolavedessä (NaCl) sekä osaa ilmasäilytyksessä. Säilytyslämpötilana oli huoneilman lämpötila ja säilytysaika kuusi kuukautta. Säilytyksen jälkeen koekappaleet temperoitiin + 10 °C lämpötilaan ja tehtiin halkaisuvetokoe. Kokeella määritettiin halkaisuvetolujuus eli lieriömäisen koekappaleen sivusuuntaisessa puristuskokeessa saadusta murtokuormituksesta (N) laskettu vetolujuus ( $\text{kN/m}^2$ ). Ns. tarttuvuusluku lasketaan vesisäilytettyjen ja ilmasäilytettyjen koekappaleiden halkaisuvetolujuuksien välisenä suhteena. Tässä tutkimuksessa tarttuvuusluku on lisäksi laskettu suhteille suolavesi / ilma ja suolavesi / vesi.



## 4 KOKEIDEN TULOKSET

### 4.1 Kalkkikivijauheiden ominaisuudet

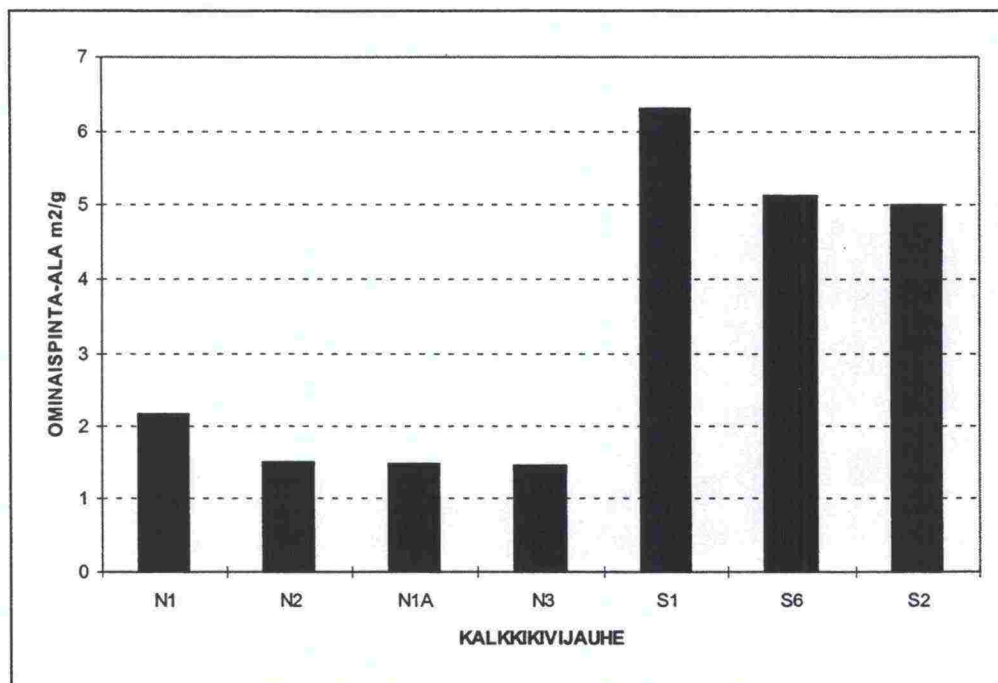
Kalkkikivijauheista määritetyt ominaisuudet esitetään taulukossa 1 ja kuvissa 2 - 7. Näytteiden kiintotiheydet vaihtelivat välillä 2,70 - 2,77 g/cm<sup>3</sup>. Ominaispinta-alaltaan ainekset jakoutuivat selvästi kahteen eri ryhmään, sillä Nordkalk Oy:n toimittaman neljän kalkkikivijauheen (N1 - N3) ominaispinta-alat olivat 1,45 - 2,15 m<sup>2</sup>/g ja Saxo Oy:n toimittaman kolmen kalkkikivijauheen (S1 - S6) 5,02 - 6,31 m<sup>2</sup>/g (kuva 2). Tyhjätilaltaan N-näytteet vaihtelivat välillä 33,9 - 35,4 % ja S-näytteet välillä 35,5 - 36,1 % (kuva 3).

Nordkalk Oy:n näytteet valittiin tutkimukseen selvittämään raekooltaan erilaisten kalsiittisten kalkkikivijauheiden vaikutusta päällysteen ominaisuuksiin. Näytteiden 0,063 mm läpäisy-%:t vaihtelivatkin 97,8 %:sta 56,1 %:iin. Alkuperäisen näytteen pesuseulonta- ja areometritulosten perusteella saadun rakeisuuskäyrän 0,002 mm läpäisyarvot vaihtelivat puolestaan välillä 11,7 - 21,0 %. Vastaavasti hienoaineksesta määritetty alle 0,002 mm aineksen osuus oli suurimmillaan 22 % ja pienimmillään 17 %. Sen sijaan Saxo Oy:n näytteet olivat rakeisuudeltaan samankaltaisia. Niiden 0,063 mm läpäisyarvot olivat 66,5 - 71,3 %, 0,002 mm läpäisyarvot 9,8 - 11,9 % ja hienoaineksen alle 0,002 mm aineksen osuudet 12 - 13 % (kuvat 4 - 6).

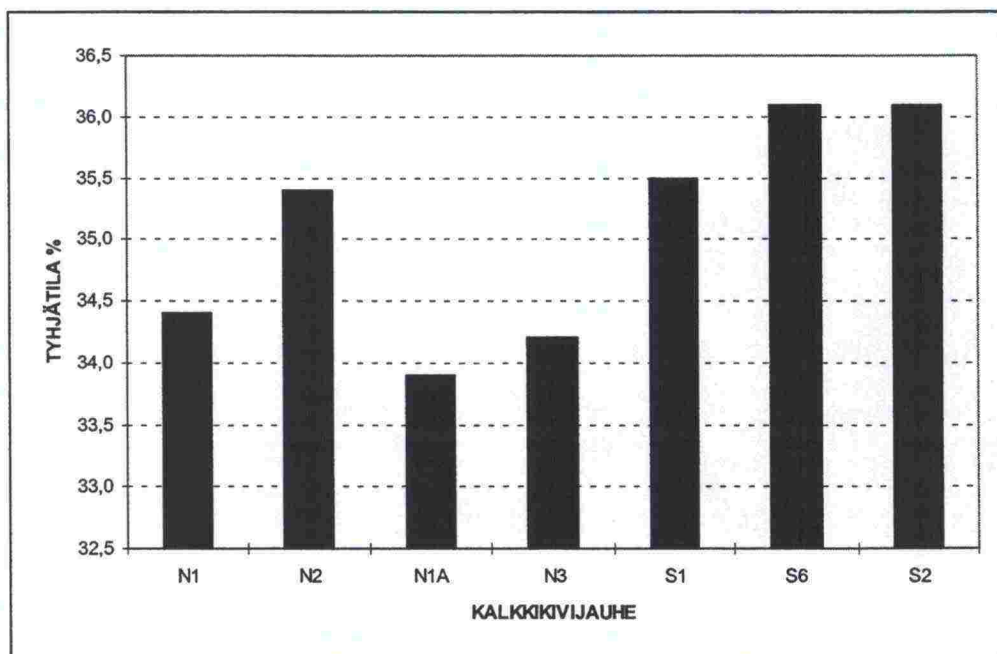
Saxo Oy:n näytteet valittiin tutkimukseen selvittämään liukoisuudeltaan suolahappoon erilaisten dolomiittisten kalkkikivijauheiden vaikutusta päällysteen ominaisuuksiin. Näytteiden liukoisuudet vaihtelivat välillä 62,0 - 81,1 %. Nordkalk Oy:n näytteillä liukoisuudet olivat suurempia eli 87,8 - 89,3 % (kuva 7).

*Taulukko 1. Kalkkikivijauheiden ominaisuudet (\* = määrittäminen tehty alle 0,063 mm aineksesta; \*\* = alkuperäisen näytteen areometri- ja pesuseulontatulokset yhdistetty).*

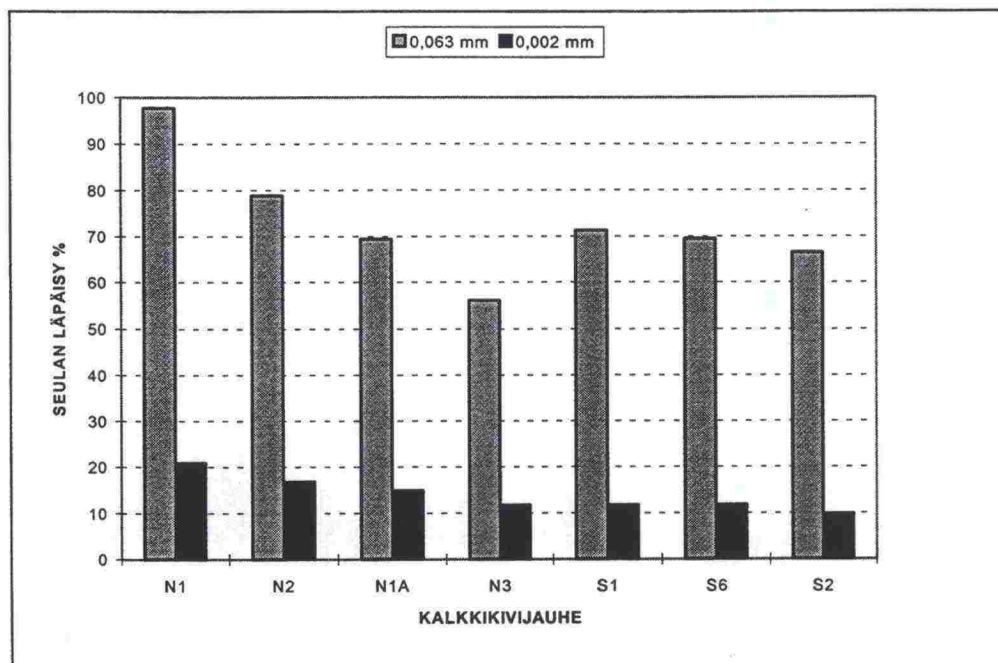
Näyte- tunnus	Kiinto- tiheys* g/cm <sup>3</sup>	Ominais- pinta-ala* m <sup>2</sup> /g	Tyhjätila* %	Rakeisuus 63 µm läpäisy-%	Rakeisuus 125 µm läpäisy-%	Rakeisuus 2 µm ** läpäisy-%	Rakeisuus 2 µm* läpäisy-%	Liukoisuus %
N1	2,77	2,15	34,4	97,8	99,9	21,0	22	89,0
N1A	2,76	1,48	33,9	69,4	85,1	14,9	18	87,8
N2	2,76	1,51	35,4	78,9	95,3	16,8	19	89,3
N3	2,75	1,45	34,2	56,1	70,6	11,7	17	88,6
S1	2,70	6,31	35,5	71,3	95,5	11,7	12	81,1
S2	2,76	5,02	36,1	66,5	93,7	9,8	13	62,0
S6	2,71	5,13	36,1	69,5	94,8	11,9	12	69,5



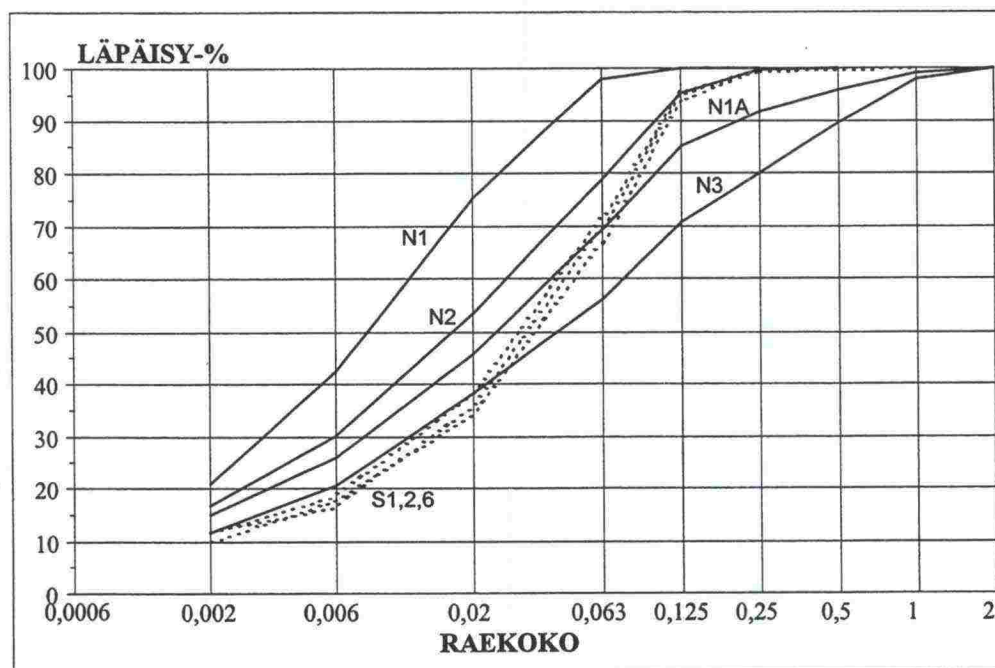
Kuva 2. Kalkkikivijauheiden ominaispinta-alat.



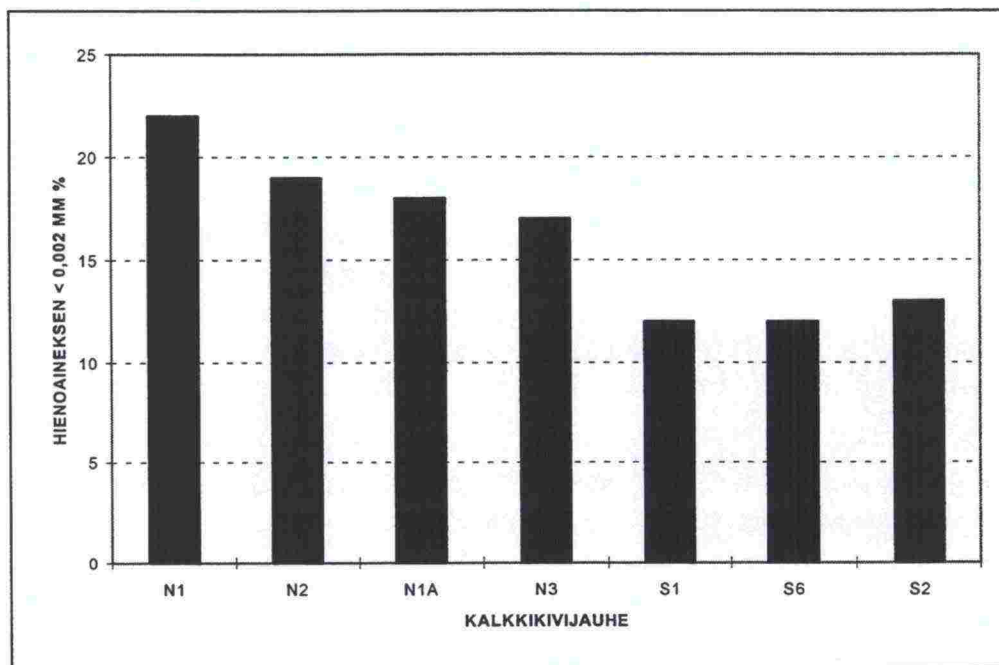
Kuva 3. Kalkkikivijauheiden tyhjätilat.



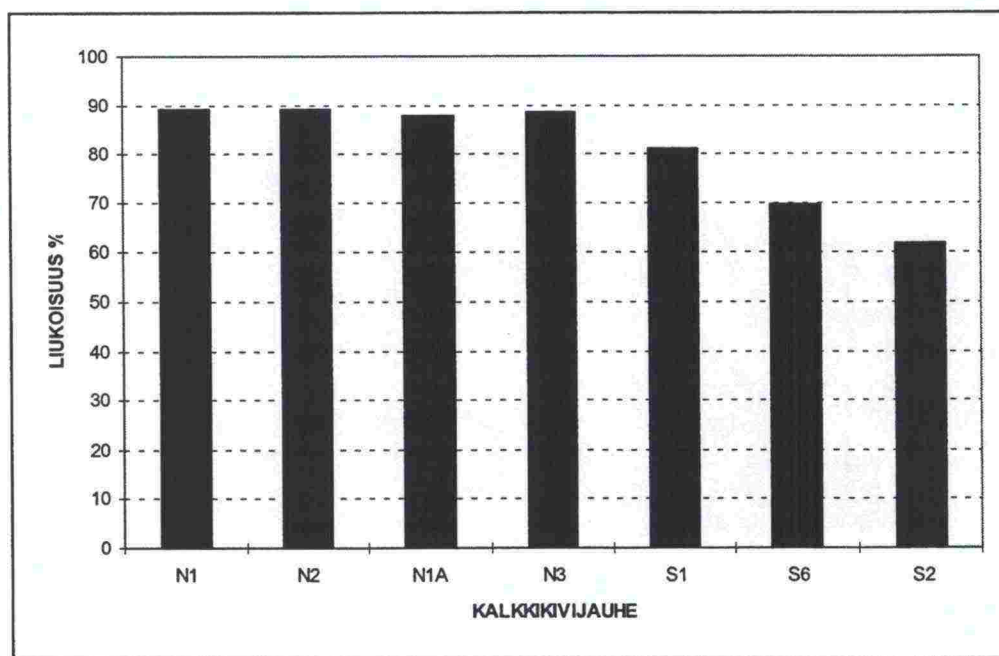
Kuva 4. Kalkkikivijauheiden rakeisuudet 0,063 mm läpäisynä (pesuseulonta) ja 0,002 mm läpäisynä (areometri- ja pesuseulontatulosten yhdistäminen) alkuperäisestä näytteestä määritettynä.



Kuva 5. Kalkkikivijauheiden rakeisuuskäyrät (alkuperäisen näytteen areometri- ja pesuseulontamääritykset).



Kuva 6. Kalkkikivijauheiden hienoaineksen (< 0,063 mm) alle 0,002 mm aineksen osuudet.



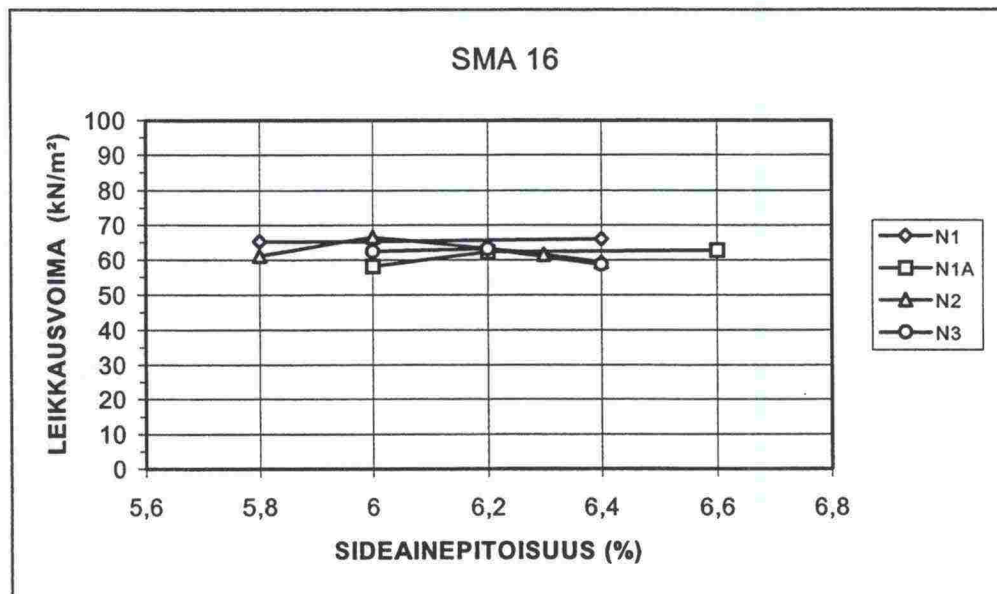
Kuva 7. Kalkkikivijauheiden liukoisuudet suolahappoon.



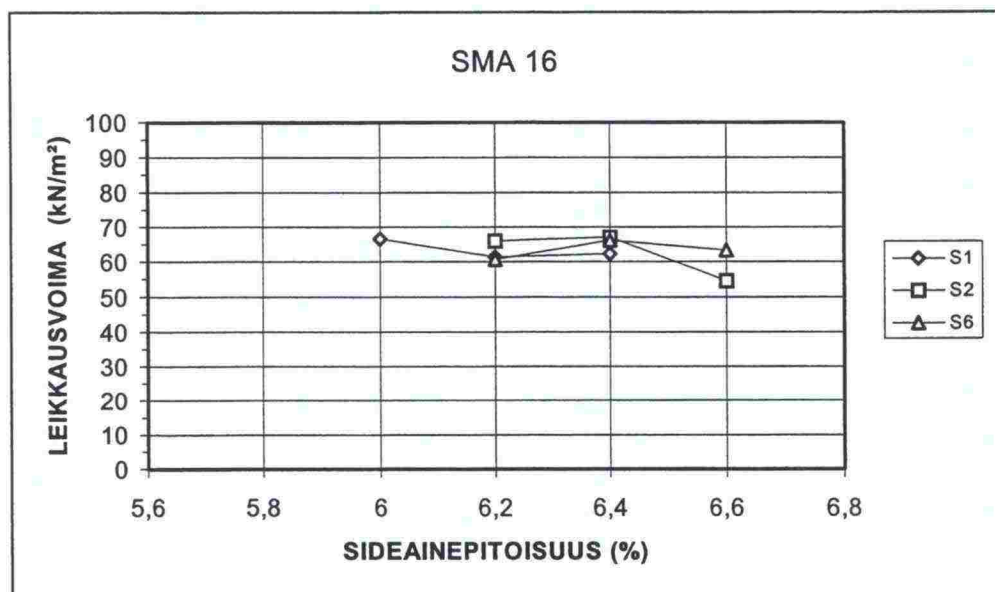
## 4.2 Suhteitus

Kalkkikivijauheiden vaikutus suhteitukseen ja samalla myös tiivistettävyyteen testattiin kiertotiivistimellä (ICT-laite) vähintään kolmella eri sideainepitoisuudella ja pääosin kolmella rinnakkaisnäytteellä. Leikkausjännitykset määritettiin 102 ja 406 kierroksen jälkeen. Kuvissa 8 ja 9 on esitetty leikkausjännitykset 406 kierroksen jälkeen keskiarvoina eri sideainepitoisuuksilla. Liitteessä 1 on tulokset esitetty myös yksittäistuloksina. Tiivistetyistä koe-kappaleista määritettiin tiheydet teoreettisesti ja kokeellisesti vesi-ilmapun- nituksin. Laskennallisesti näytteistä määritettiin täyttöaste, tyhjätila ja kiviain- neksen tyhjätila. Tulokset on esitetty yksittäisarvoina sekä keskiarvoina liit- teessä 2.

Kalkkikivijauheilla N1, N1A, N2 ja N3 suhteituksessa käytetyt sideainepitoi- suudet olivat välillä 5,8 - 6,6 %. Suhteitustulosten perusteella vedenkesto- kokeisiin valittiin optimisideainepitoisuuden omaavat massat, joiden sideai- nepitoisuudet olivat välillä 6,0 - 6,2 %. Näiden massojen leikkausvoimien keskiarvot 102 tiivistyskierroksen jälkeen olivat 67 - 74 kN/m<sup>2</sup> sekä vastaa- vat arvot 406 tiivistyskierroksen jälkeen 58 - 65 kN/m<sup>2</sup>. Kalkkikivijauheilla S1, S2 ja S6 käytetyt sideainepitoisuudet olivat 6,0 - 6,6 % ja optimisideai- nepitoisuudet 6,3 - 6,4 %. Vastaavasti 102 tiivistyskierroksen jälkeiset leik- kausvoimat olivat 76 - 77 kN/m<sup>2</sup> sekä 406 kierroksen jälkeiset leikkausvoi- mat 62 - 67 kN/m<sup>2</sup>.

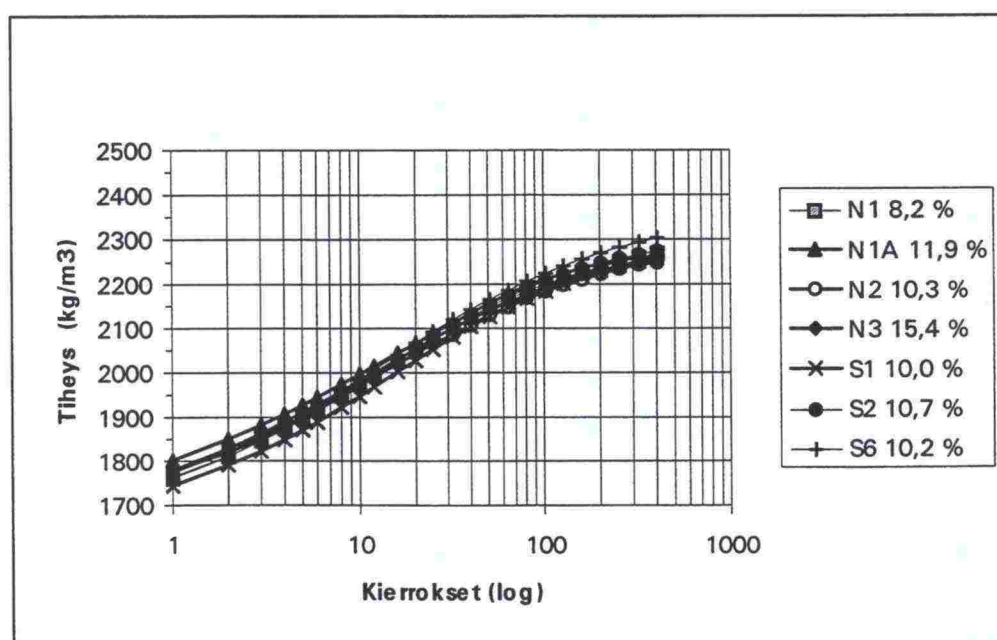


Kuva 8. Kalkkikivijauheiden N1, N1A, N2 ja N3 leikkausvoimat rinnakkaisnäyt- teiden keskiarvoina sideainepitoisuuden funktiona 406 tiivistyskierroksen jälkeen.

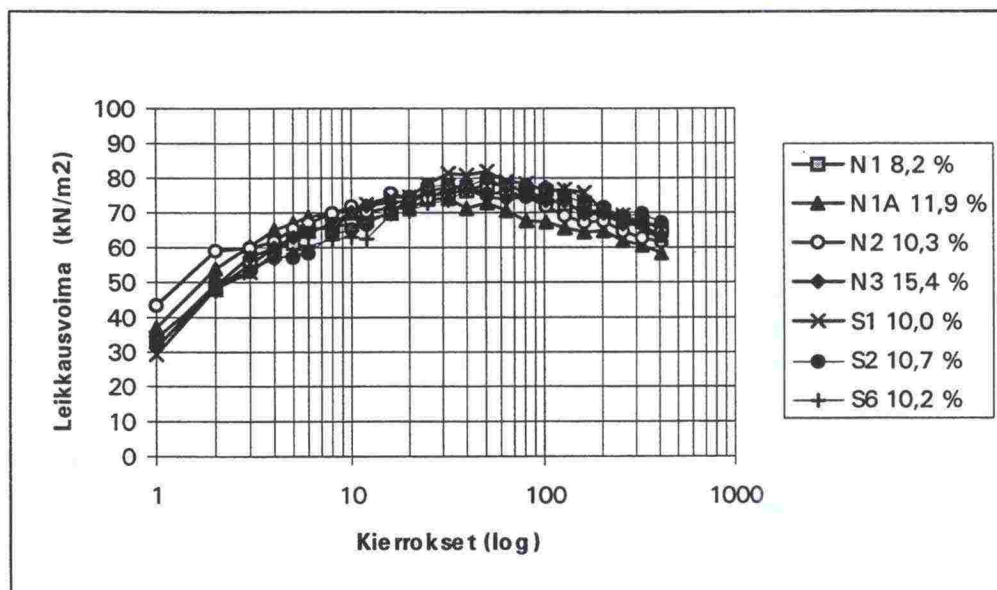


Kuva 9. Kalkkikivijauheiden S1, S2 ja S6 leikkausvoimat rinnakkaisnäytteiden keskiarvoina sideainepitoisuuden funktiona 406 tiivistyskierroksen jälkeen.

Kuvissa 10 ja 11 on esitetty tiheyden ja leikkausvoiman muutos tiivistyskierroksen funktiona parhaimmalla käytetyistä sideainepitoisuuksista rinnakkaisnäytteiden keskiarvoina. Kalkkikivijauheilla N1, N1A, N2 ja N3 tiheydet 102 tiivistyskierroksen jälkeen olivat välillä 2175 - 2212 kg/m<sup>3</sup> ja 406 kierroksen jälkeen 2245 - 2268 kg/m<sup>3</sup>. Vastaavat arvot näytteillä S1, S2 ja S6 olivat 2184 - 2207 kg/m<sup>3</sup> ja 2260 - 2283 kg/m<sup>3</sup>. Tiivistettäessä kaikki optimisideainepitoisuuden omaavat massat eri täytejauheilla käyttäytyivät tiivistystyön suhteen samanlailla. Suurin leikkausvoima oli massoilla kierrosten 30 - 50 välillä ollen arvojen 73 ja 82 kN/m<sup>2</sup> välillä.

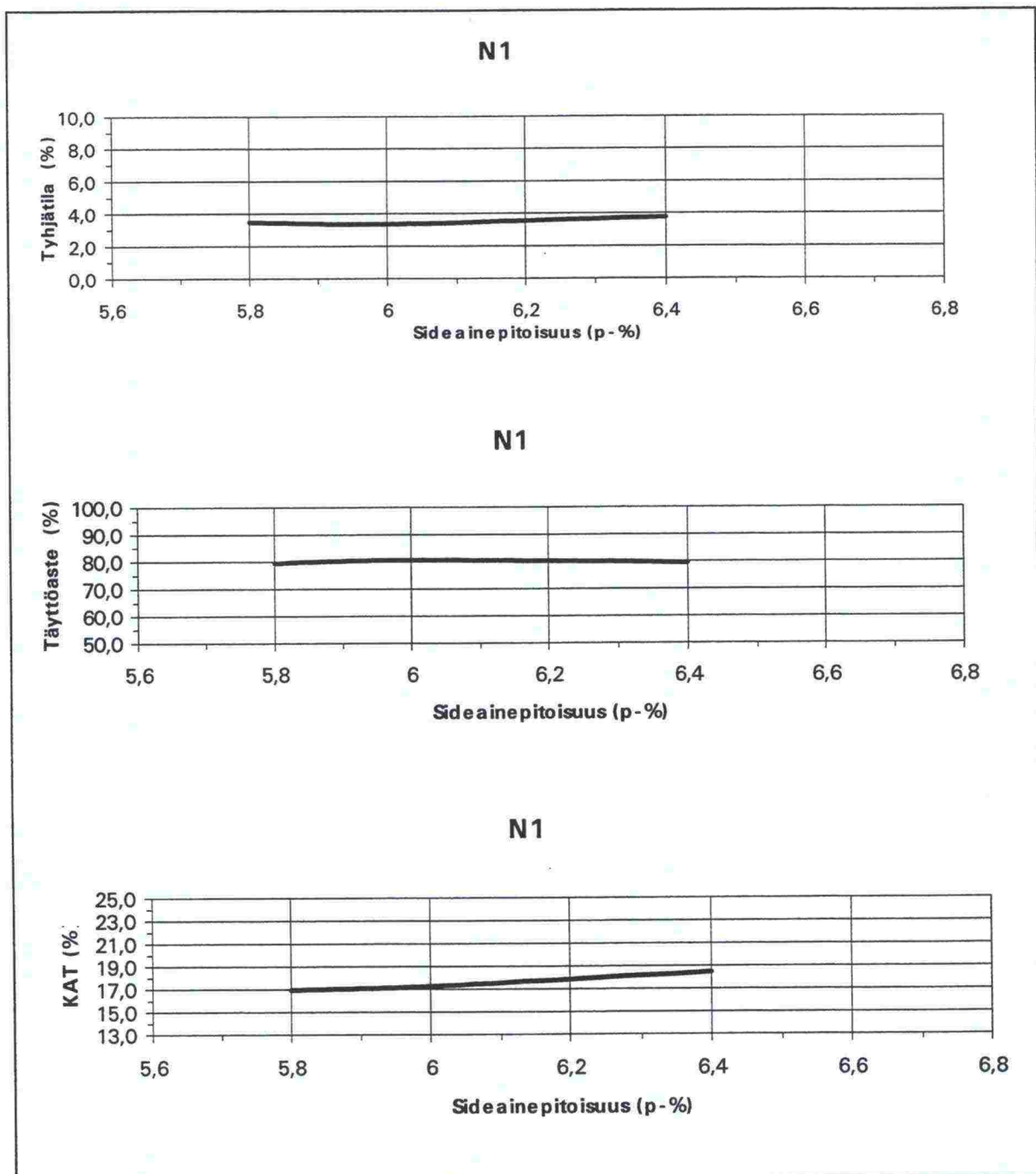


Kuva 10. Massojen tiivistyminen tiivistyskierrosten funktiona optimisideainepitoisuudella rinnakkaisnäytteiden keskiarvoina.



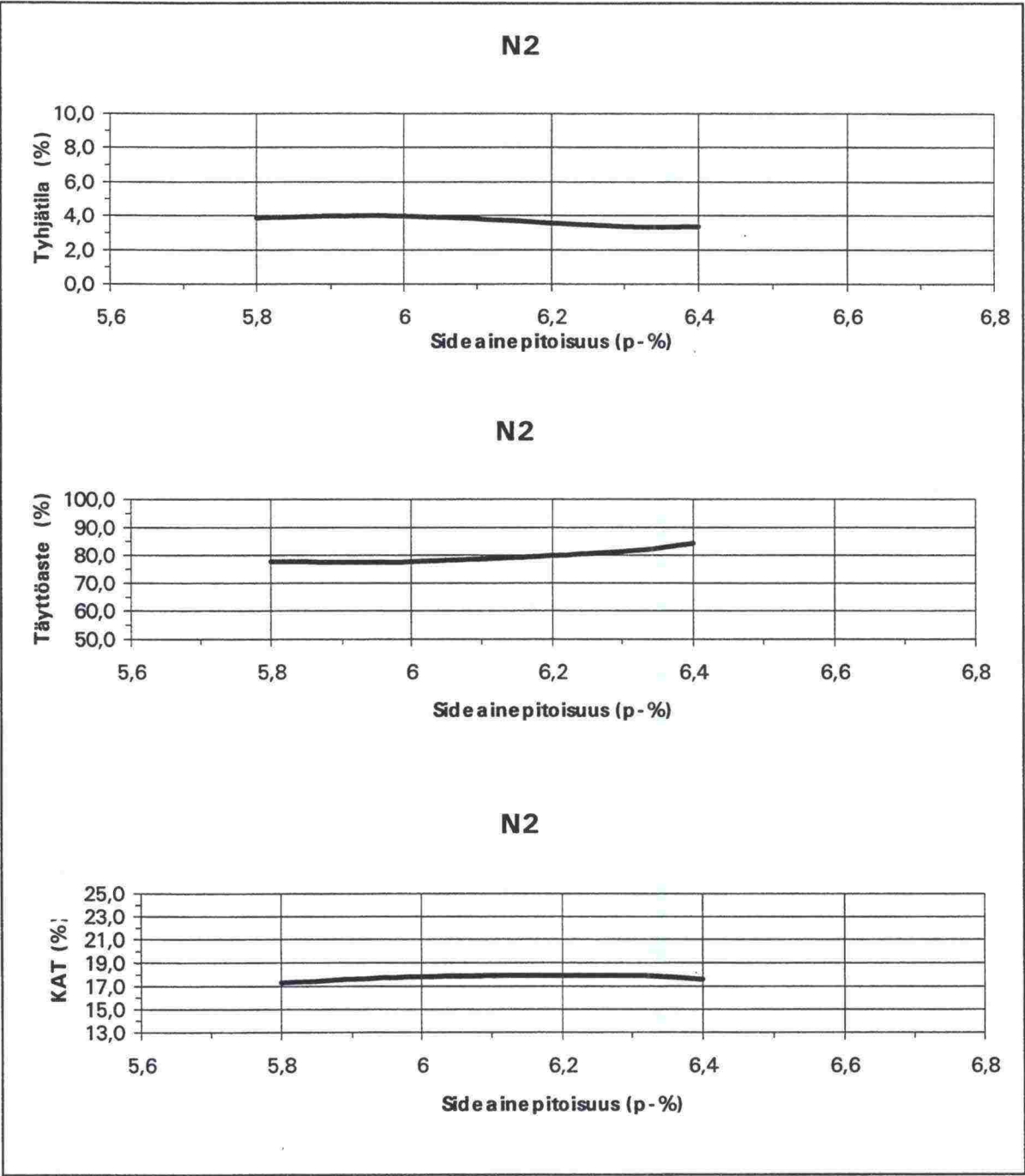
Kuva 11. Massojen leikkausvoimat tiivistyskiertojen funktiona optimisideainepitoisuudella rinnakkaisnäytteiden keskiarvona.

Massojen suhteituksessa pyrittiin siihen, että niiden ominaisuudet olisivat keskenään samanlaiset. Kalkkikivijauheiden ominaisuuksien erilaisuuksista johtuen jouduttiin niitä käyttämään erilaisia määriä massassa. Kalkkikivijauheiden N1, N1A, N2 ja N3 määrät massassa olivat välillä 8,2 - 15,3 % ja kalkkikivijauheilla S1, S2 ja S6 välillä 10,0 - 10,7 % kiviaineksen painosta. Täytejauheiden ominaisuudet vaikuttavat luonnollisesti myös bitumisen sideaineen määrään, jota säätämällä vaikutetaan massan ominaisuuksiin. Kuvissa 12 - 18 on esitetty sideainepitoisuuden vaikutus massan täyttöasteeseen, tyhjätilaan ja kiviaineksen tyhjätilaan eri täytejauheilla rinnakkaisnäytteiden keskiarvojen mukaan.

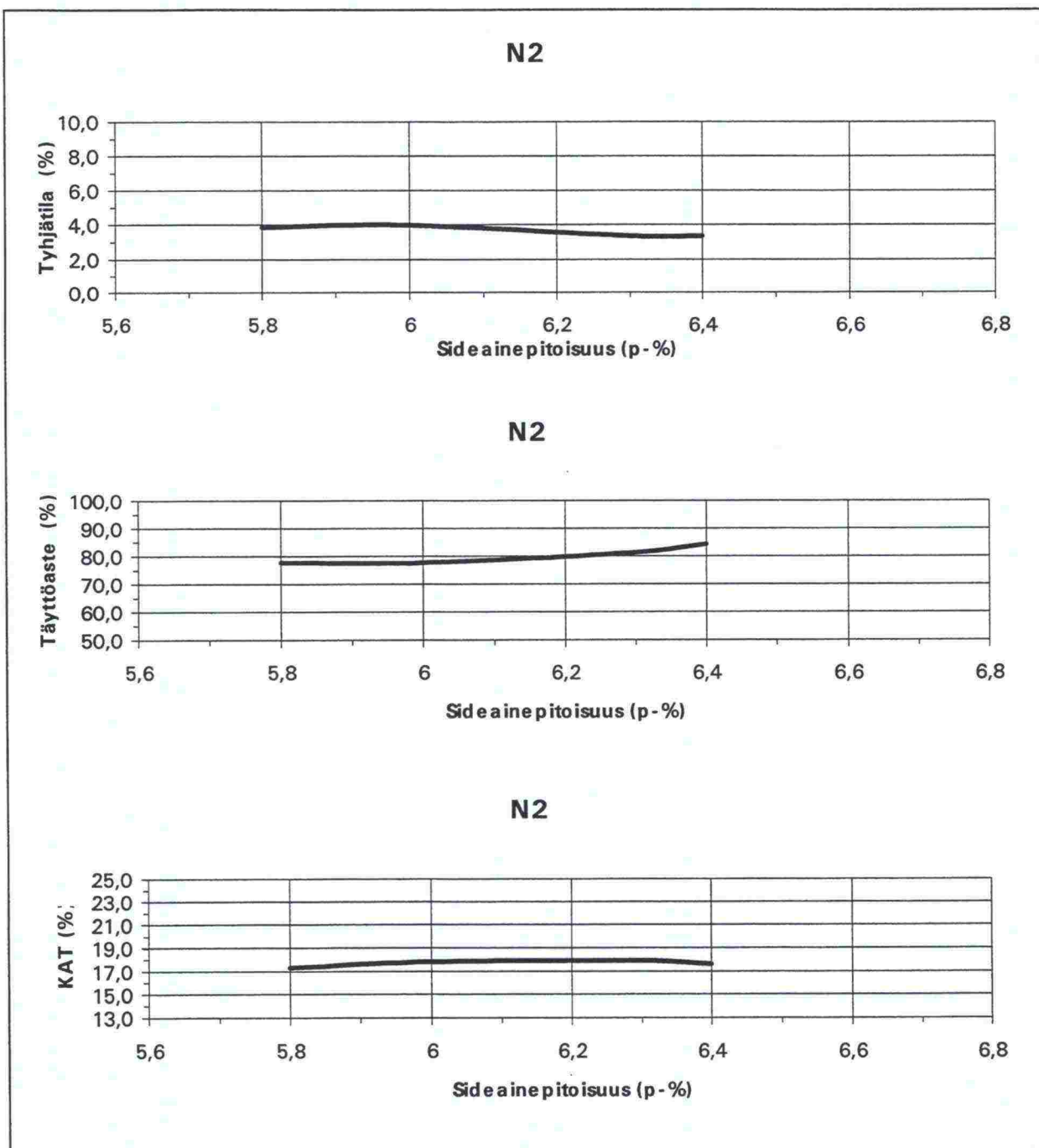


Kuva 12. Massan ominaisuudet sideainepitoisuuden funktiona kalkkikivijauhetta N1 käyttäen

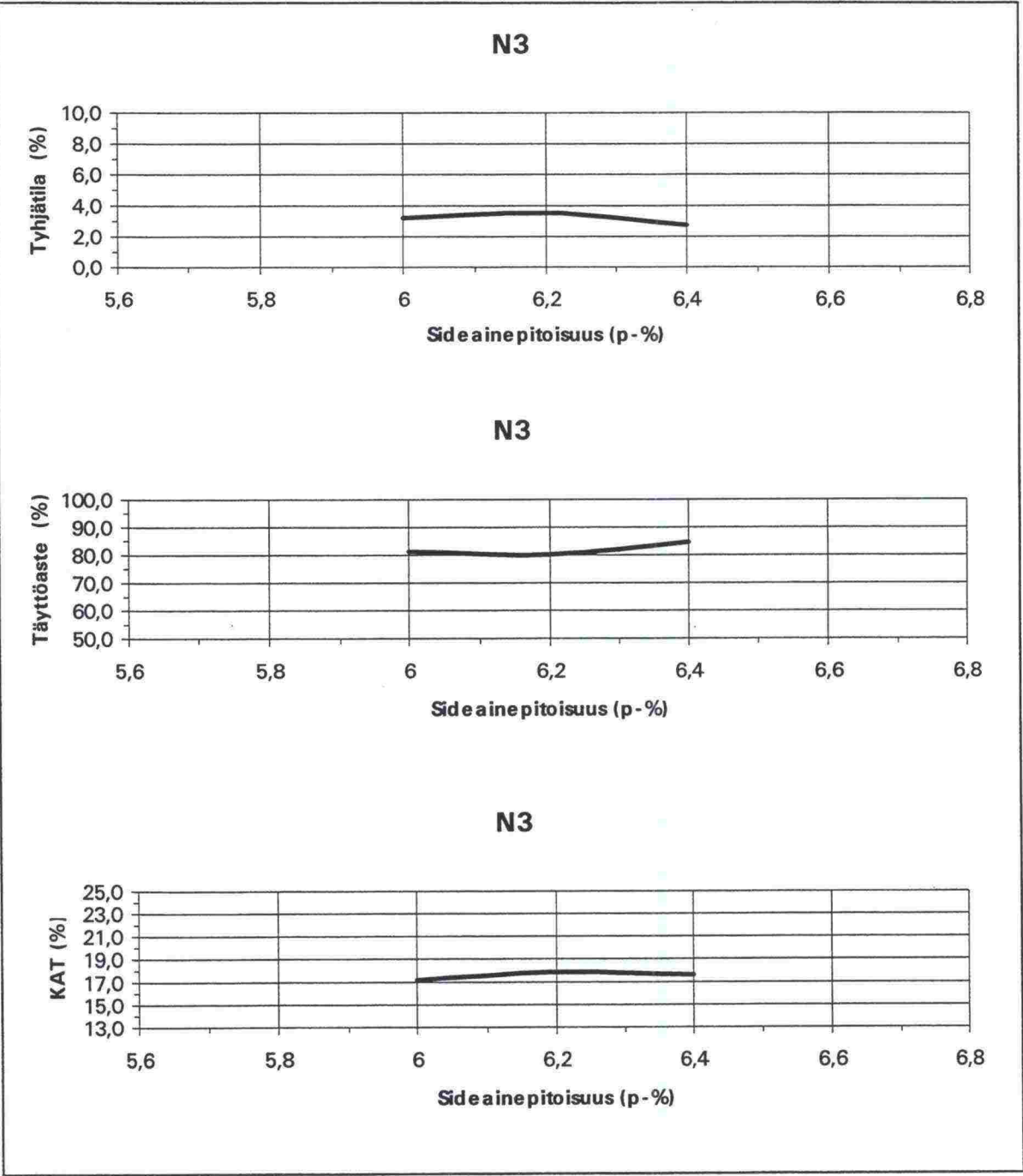




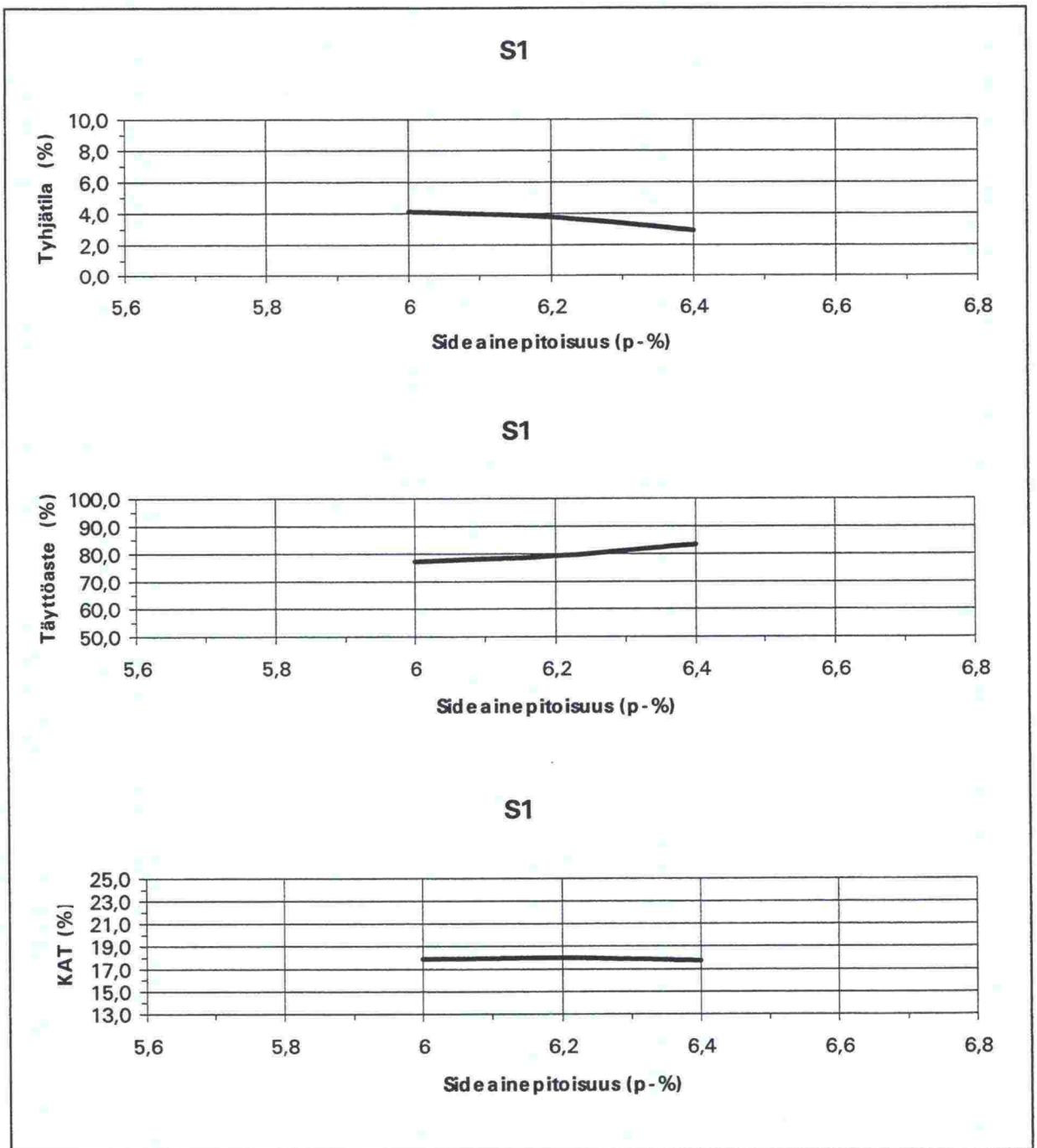
Kuva 13. Massan ominaisuudet sideainepitoisuuden funktiona kalkkikivijauhetta N1A käyttäen.



Kuva 14. Massan ominaisuudet sideainepitoisuuden funktiona kalkkikivijauhetta N2 käyttäen.

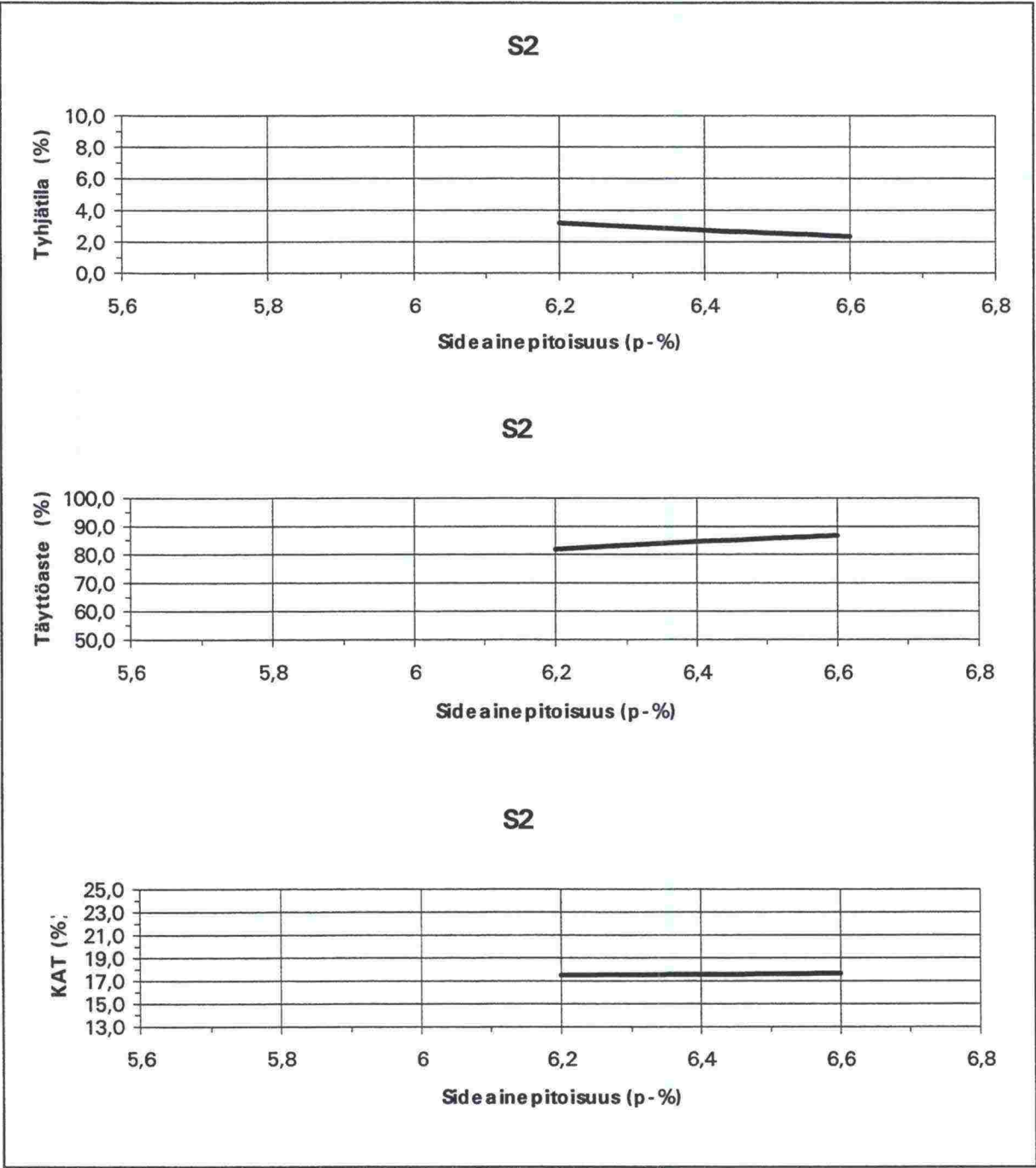


Kuva 15. Massan ominaisuudet sideainepitoisuuden funktiona kalkkikivijauhetta N3 käyttäen.

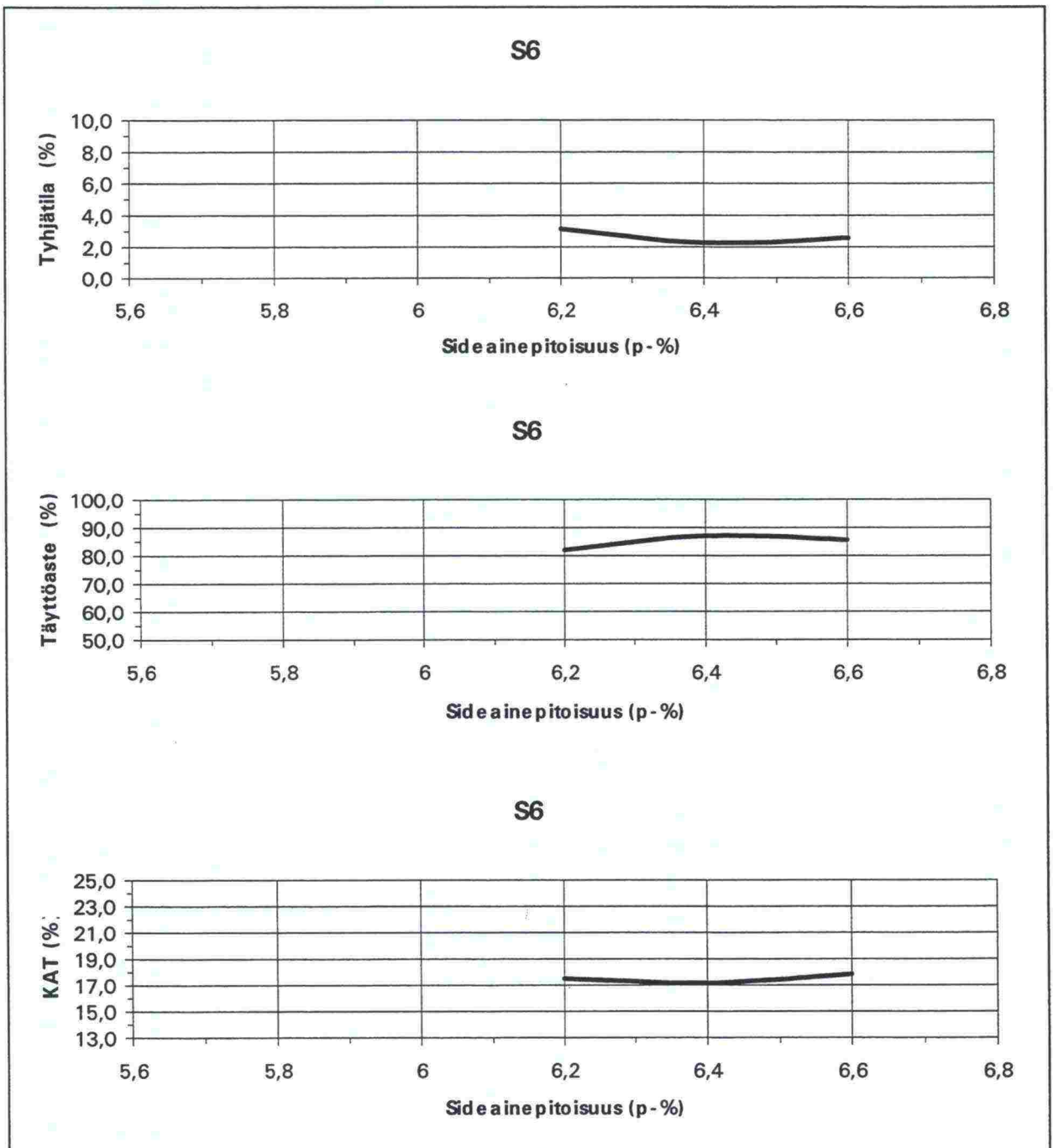


Kuva 16. Massan ominaisuudet sideainepitoisuuden funktiona kalkkikivijauhetta S1 käyttäen.





Kuva 17. Massan ominaisuudet sideainepitoisuuden funktiona kalkkikivijauhetta S2 käyttäen.



Kuva 18. Massan ominaisuudet sideainepitoisuuden funktiona kalkkikivijauhetta S6 käyttäen.

Suhteituksen perusteella kalkkikivijauheita N1, N1A, N2 ja N3 käyttäen massojen optimisideainepitoisuudet olisivat arvojen 6,0 - 6,2 % välillä, jolloin täyttöasteet olivat samaa suuruusluokkaa (80 - 83 %). Vastaavasti jauheita S1, S2 ja S6 käyttäen optimisideainepitoisuudet olivat 6,3 - 6,4 % ja täyttöasteet olivat tällöin 84 - 85 %. Tyhjätilat olivat suhteituksen mukaan vastaavilla sideainepitoisuuksilla 2,7 - 3,4 % ja kiviaineksen tyhjätilat 16,9 - 17,9 %.

Suhteituksen perusteella vedenkestokokeiden päällystelaattojen sideainepitoisuuksiksi valittiin käytettäessä kalkkikivijauhetta N1 6,0 %, N1A 6,0 %, N2 6,2 %, N3 6,2 %, S1 6,4 %, S2 6,4 % ja S6 6,3 %. Laatoista poratuista koekappaleista määritettiin myös päällysteen tiheys, täyttöaste (TA), tyhjätila (TT) ja kiviaineksen tyhjätila (KAT). Taulukossa 2 on esitetty laatoista porattujen koekappaleiden keskimääräiset ominaisuudet ja täytejauheominaisuuksia.

*Taulukko 2. Vedenkestokokeisiin valmistetuista laatoista porattujen koekappaleiden ominaisuuksia ja ICT-kokeen päällystemassan tyhjätilat.*

Näyte- tunnus	Päällystelaatta				ICT	Täytejauheomin.	
	Sideaine %	TT %	KAT %	TA %	TT %	Määrä %	0,074 mm läpäisy %
N1	6,0	2,4	16	86	3,2	8,2	9,6
N1A	6,0	2,5	17	85	2,9	11,9	9,5
N2	6,2	1,9	16	89	2,7 *	10,3	9,5
N3	6,2	2,1	17	87	2,7 *	15,4	9,5
S1	6,4	1,7	17	90	2,9	10,0	8,6
S2	6,4	2,3	17	86	2,7	10,7	8,5
S3	6,3	2,0	17	88	2,7	10,2	8,5

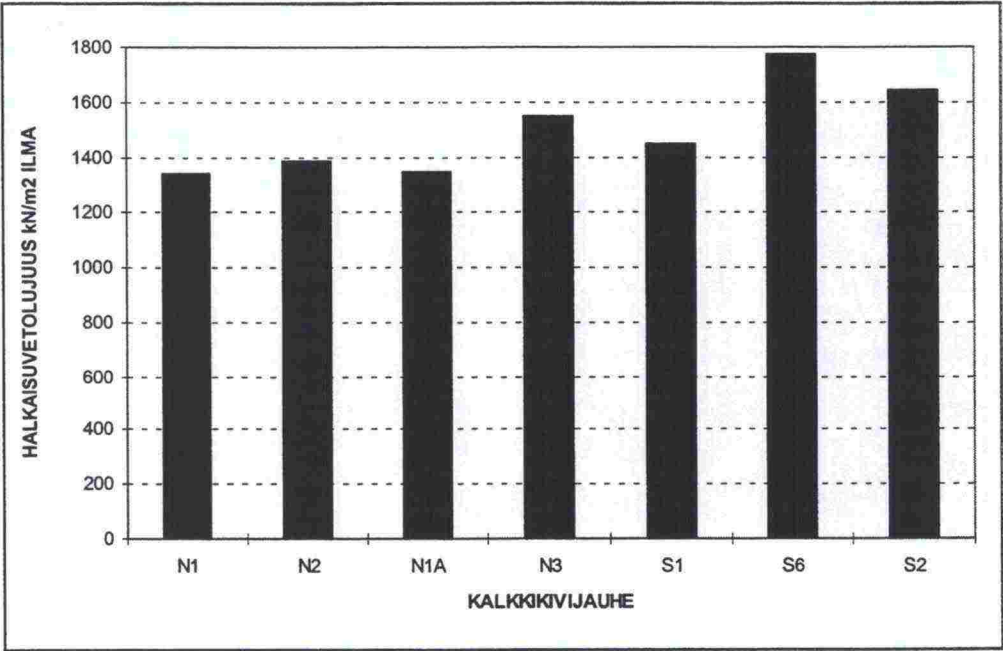
\* = sideainetta 6,4 %

### 4.3 Veden- ja suolankesto

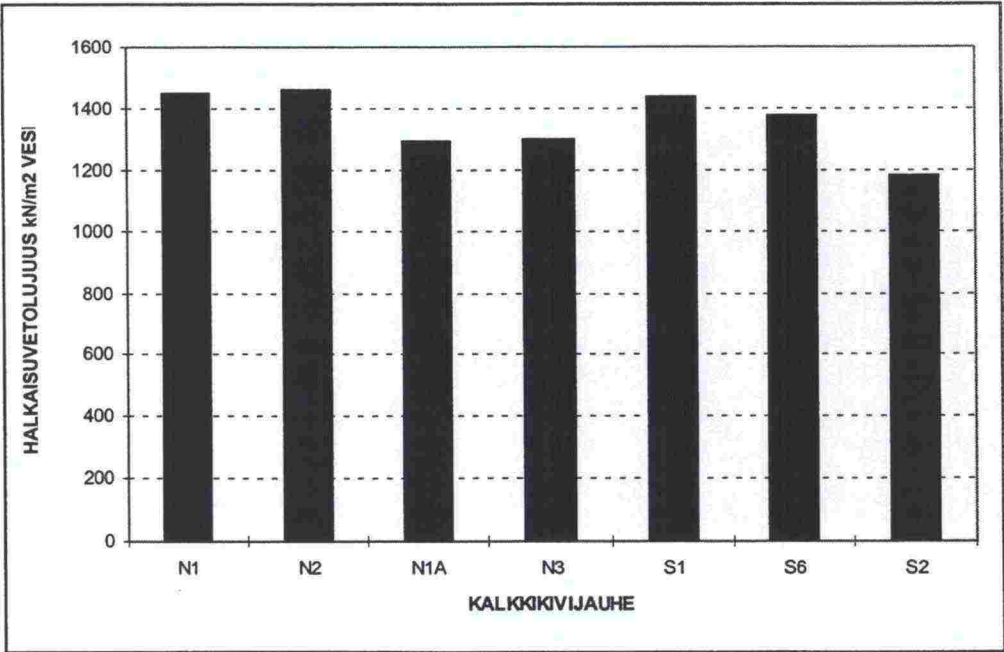
Kuusi kuukautta ilma-, vesi- ja suolavesisäilytyksessä olleiden päällysteporanäytteiden halkaisuvetolujuudet ja näistä arvoista lasketut tartuntaluvut esitetään taulukossa 3 ja kuvissa 19 - 24 sekä liitteessä 3 myös rinnakkaisarvoina. Ilmasäilytteisten poranäytteiden halkaisuvetolujuudet vaihtelivat välillä 1343 - 1774 kN/m<sup>2</sup>, vesisäilytteisten näytteiden välillä 1180 - 1463 kN/m<sup>2</sup> ja suolavesisäilytteisten näytteiden välillä 1221 - 1449 kN/m<sup>2</sup>. Tartuntaluvut olivat vesi- ja ilmasäilytteisten poranäytteiden halkaisuvetolujuuksien suhteena 71,8 - 107,9 %, suolavesi- ja ilmasäilytteisten näytteiden suhteena 74,3 - 104,6 % sekä suolavesi- ja vesisäilytteisten näytteiden suhteena 90,5 - 103,5 %.

*Taulukko 3. Ilma-, vesi- ja suolavesisäilytteistä (6 kk) poranäytteistä määritetyt halkaisuvetolujuudet ja tarttuvuusluvut.*

Näyte	Halkaisuvetolujuus kN/m <sup>2</sup>			Tarttuvuusluku %		
	Ilma	Vesi	Suolavesi	Vesi/ilma	Suola/ilma	Suola/vesi
N1	1343	1449	1317	107,9	98,1	90,9
N1A	1344	1295	1308	96,4	97,3	101,0
N2	1385	1463	1449	105,6	104,6	99,0
N3	1549	1301	1337	84,0	86,3	102,8
S1	1447	1439	1302	99,4	90,0	90,5
S2	1643	1180	1221	71,8	74,3	103,5
S6	1774	1375	1319	77,5	74,4	95,9

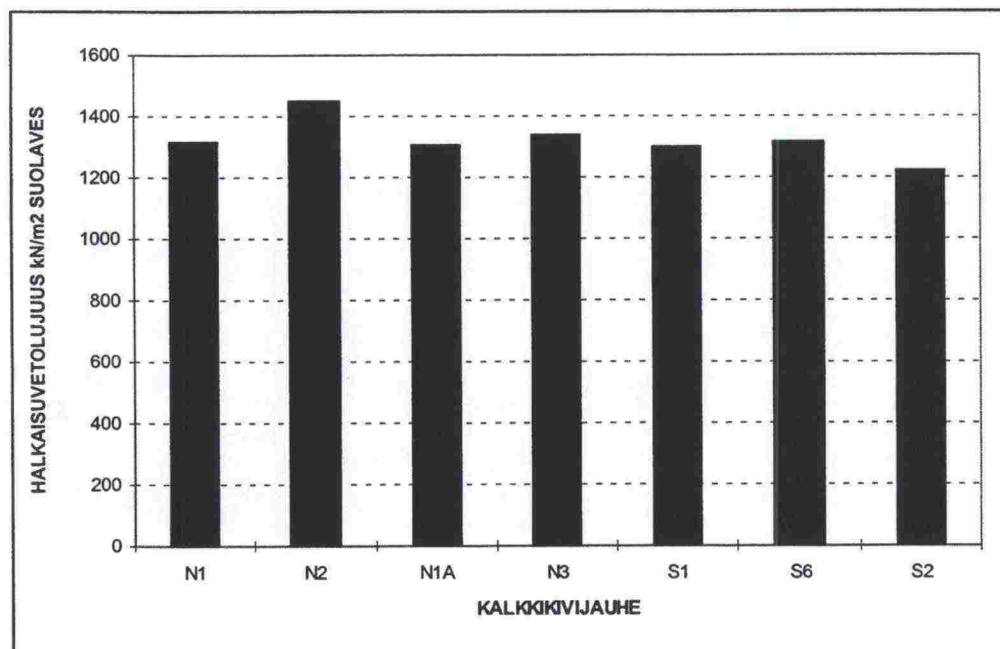


Kuva 19. Ilmasäilytteisistä näytteistä määritetyt halkaisuvetolujuudet.

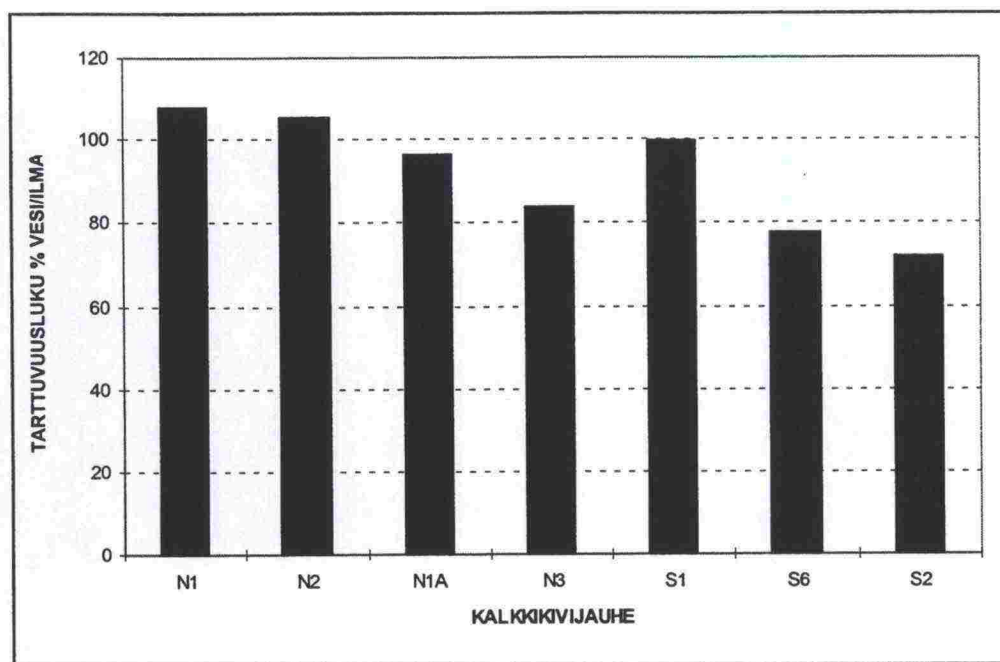


Kuva 20. Vesisäilytteisistä näytteistä määritetyt halkaisuvetolujuudet.

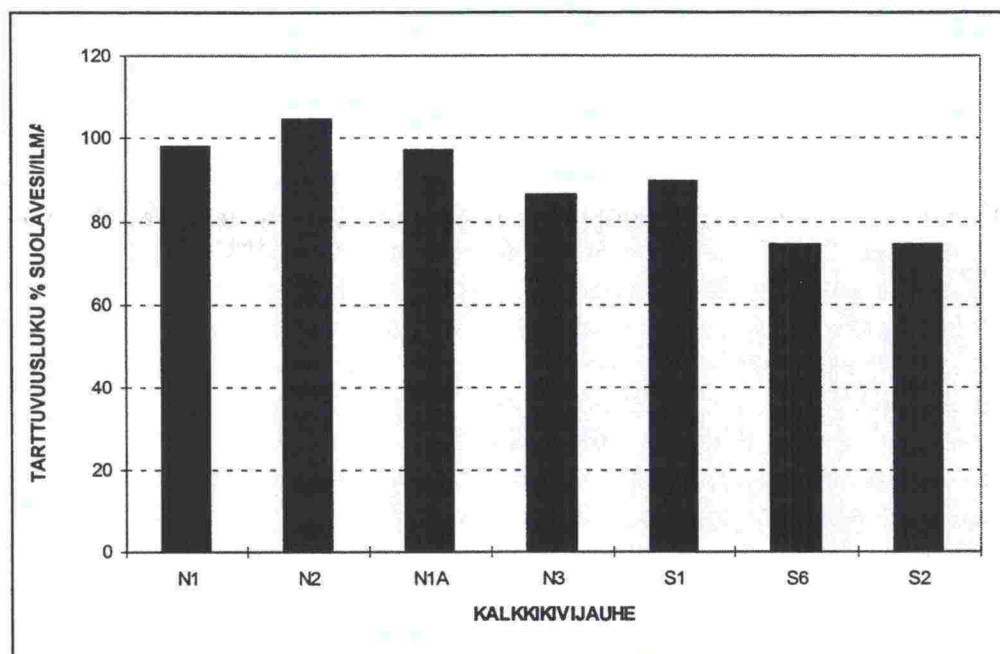




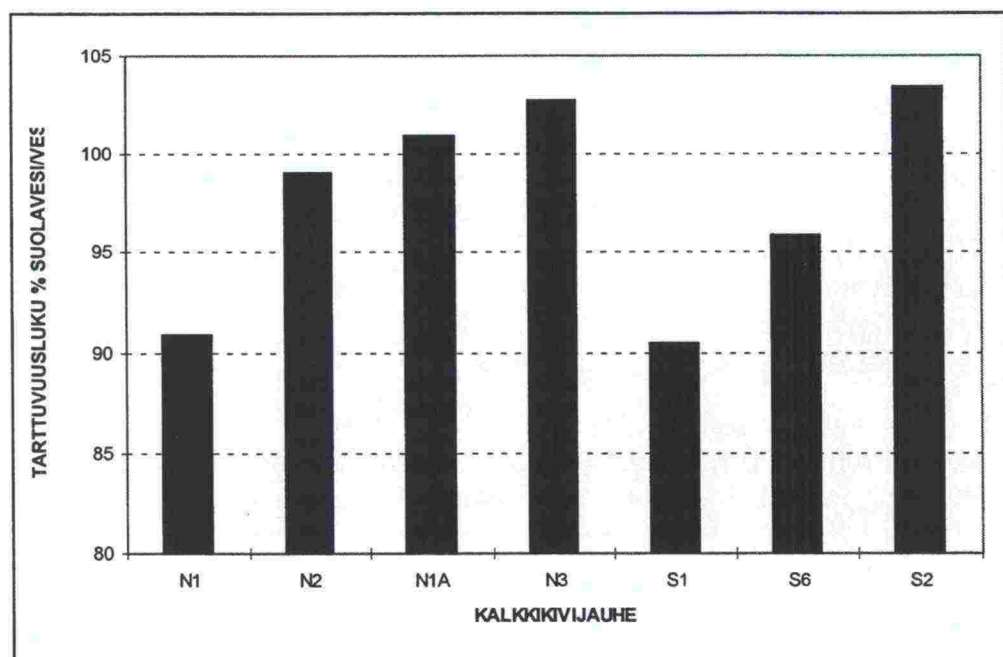
Kuva 21. Suolavesisäilytteistä näytteistä määritetyt halkaisuvetoluudet.



Kuva 22. Vesi- ja ilmasäilytteiden näytteiden halkaisuvetoluuksien suhteena määritetyt tarttuvuusluvut.



Kuva 23. Suolavesi- ja ilmasäilytteisten näytteiden halkaisuvetolujuuksien suhteena määritetyt tarttuvuusluvut.



Kuva 24. Suolavesi- ja vesisäilytteisten näytteiden halkaisuvetolujuuksien suhteena määritetyt tarttuvuusluvut.

## 5 TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1 Kalkkikivijauheiden ominaisuudet

Asfalttinormit 1995 ja Asfalttinormien 1995 muutokset (voimassa 1.1.1997 alkaen) asettavat laatuvaatimukset sekä päällysteessä käytettävälle koko hienoainesosalle että erikseen lisättävälle täytejauheelle. Hienoainesosa koostuu murskeen hienoaineksesta ja erikseen lisättävästä täytejauheesta. Koko seokselle on asetettu vaatimukset vesipitoisuuden lisäksi rakeisuudelle, tyhjätilalle ja ominaispinta-alalle kuten myös puhtaudelle ja tartuntaominaisuuksille. Rakeisuusvaatimus koskee hienoaineksesta (alle 0,063 mm) areometrillä määritettävää alle 0,002 mm aineksen määrää. Erikseen lisättävälle kalkkikivitäytejauheelle on asetettu vaatimukset rakeisuudelle ja liukoisuudelle suolahappoon. Rakeisuusvaatimus koskee seulojen 0,063, 0,125 ja 2 mm läpäisyä.

Asfalttinormien liukoisuusvaatimuksen yli 80 % täyttivät tutkituista kalsiittisista kalkkikivijauheista kaikki näytteet ja dolomiittisista kalkkikivijauheista yksi näyte (S1). Kalkkikivijauheet S2 ja S6 valittiin tutkimukseen juuri niiden alhaisten liukoisuusarvojen (alle 70) perusteella. Viimeksi mainitut näytteet eivät myöskään täyttäisi Tielaitoksen asettamaa liukoisuusvaatimusta 75 %. Liukoisuus on luonnollisesti riippuvainen hienoaineksen mineraalikoostumuksesta.

Kaikki kalkkikivijauheet täyttävät 2 mm läpäisy-%:n puolesta (vaatimus 100 %) normien vaatimuksen. Seulan 0,125 mm läpäisyvaatimusarvon, vähintään 85 %, täyttävät kaikki näytteet N3-näytettä lukuun ottamatta. Rakeisuusvaatimuksen 0,063 mm kohdalla (vähintään 70 %) täyttävät näytteet N1, N2 ja S1. N1A- ja S6-näytteiden läpäisyarvot 69,4 % ja 69,5 % ovat aivan vaatimuksen rajalla. Koko hienoainesseoksesta alle 0,063 mm materiaalista määritettävä vaatimus (enintään 10 %) alle 0,002 mm aineksen osuudesta ei täytyisi millään näytteellä.

Ominaispinta-alaltaan tutkittavat kalkkikivijauheet jakautuivat selvästi kahden eri ryhmään. Kalsiittisilla N-näytteillä ominaispinta-alat olivat alhaisia (1,45 - 2,15 m<sup>2</sup>/g), kun taas dolomiittisten S-näytteiden ominaispinta-alat ylittivät juuri ja juuri hienoainesseokselle asetetun vaatimuksen 5 m<sup>2</sup>/g. Koska vaatimus koskee nimenomaan koko hienoainesosaa, yli 5 m<sup>2</sup>/g ominaispinta-aloja omaavia kalkkikivijauheita voidaan käyttää päällysteen täytejauheina mikäli muun hienoaineksen ominaispinta-ala on alle 5 m<sup>2</sup>/g.

Asfalttinormien koko hienoainesosaa koskevan tyhjätilavaatimuksen (36 - 44 %) täyttävät kalkkikivijauheista vain näytteet S2 ja S6. Kalkkikivitäytejauheille onkin tyypillistä, että niiden Rigden-laitteella määritetty tyhjätilat ovat selvästi alle 36 %.

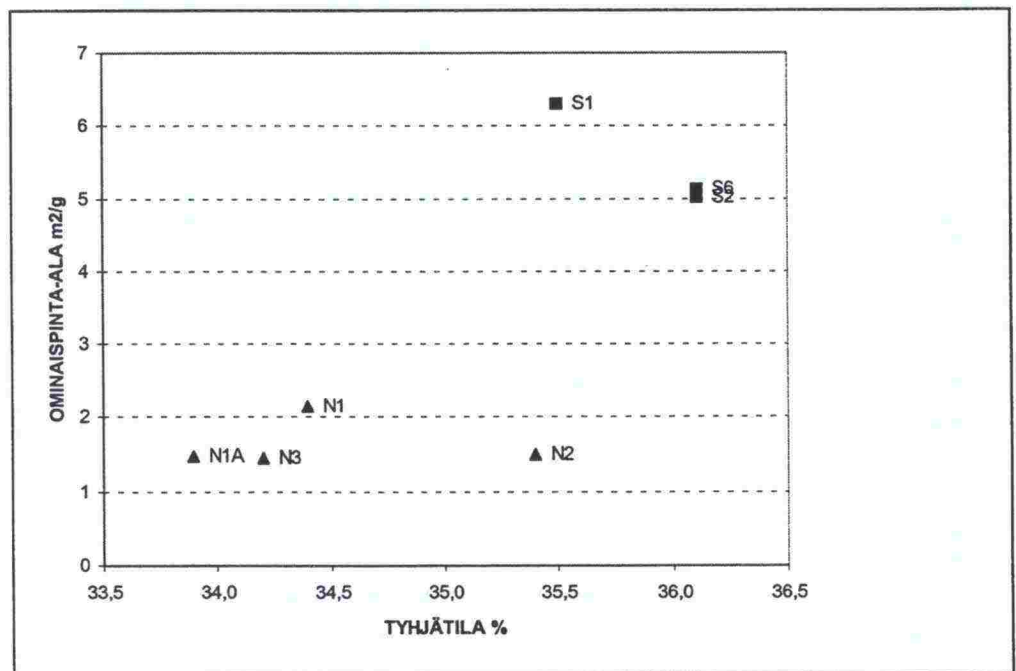
Tuloksia voidaan tarkastella mm. kahden muuttujan välisenä korrelaationa. Tarkastelussa esitettävät korrelaatiokertoimet ( r ) perustuvat kahden muuttujan väliseen lineaariseen korrelaatioon. Korrelaation merkitsevyys on esitetty merkeillä \*\*\* (erittäin merkitsevä korrelaatio, riskitaso 0,1 %), \*\*



(merkitsevä korrelaatio, riskitaso 1 %), \* (jokseenkin merkitsevä korrelaatio, riskitaso 5 %) ja ° (suuntaa-antava korrelaatio, riskitaso 10 %). Mikäli edellä mainitut merkit puuttuvat, korrelaation merkitsevyys on vieläkin huonompi (riskitaso yli 10 %).

Ominaispinta-ala korreloi taulukon 1 ominaisuuksista parhaiten hienoaineksen alle 0,002 mm osuuden ( $r = -0,86^{**}$ ), tyhjätilan ( $r = 0,77^{*}$ ), kiintotiheyden ( $r = -0,76^{*}$ ) ja liukoisuuden ( $r = -0,75^{*}$ ) kanssa. Näistä ominaisuuksista liukoisuus riippuu kalkkikivijauheen mineraalikoostumuksesta, joten se on tavallaan välillinen selittäjä. N-näytteillä ominaispinta-ala korreloi parhaiten hienoaineksen alle 0,002 mm osuuden ( $r = 0,95^{*}$ ), 0,063 mm läpäisyn ( $r = 0,88^{*}$ ) ja 0,002 mm läpäisyn ( $r = 0,88^{*}$ ) kanssa sekä S-näytteillä tyhjätilan ( $r = -1,00^{**}$ ) ja liukoisuuden ( $r = 0,95^{\circ}$ ) kanssa.

Ominaispinta-alan ja tyhjätilan välinen korrelaatio on negatiivinen, jos tarkastellaan N- ja S-kalkkikivijauheita erikseen, mutta positiivinen tarkasteltaessa näytteitä yhdessä (kuva 25).

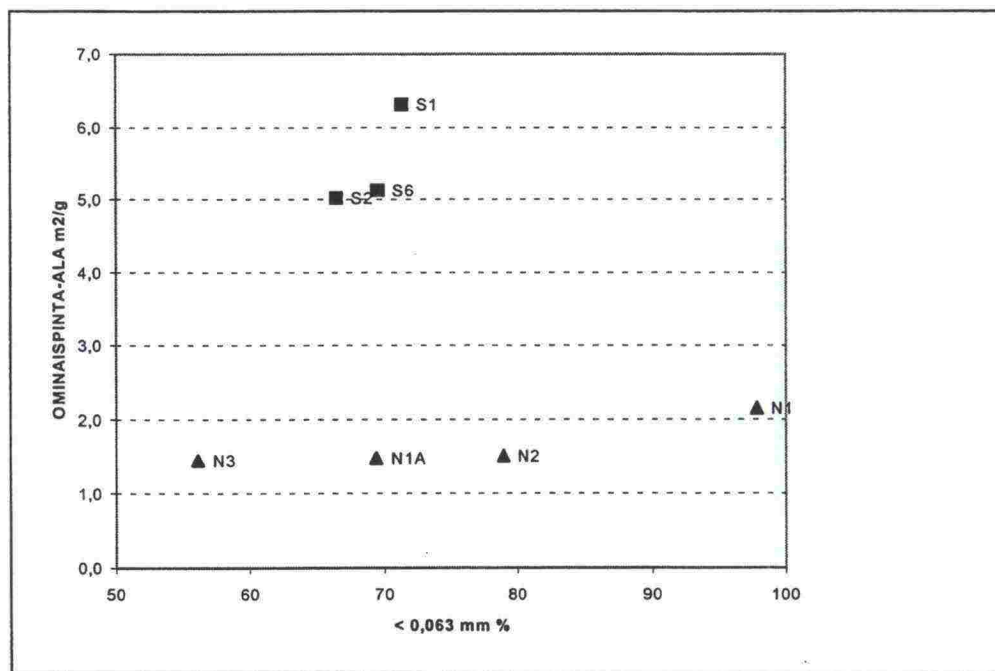


Kuva 25. Ominaispinta-alan ja tyhjätilan välinen riippuvuus ( $r = 0,77^{*}$ ; N-fille-reillä  $r = -0,02$  ja S-fille-reillä  $r = -1,00^{**}$ ).

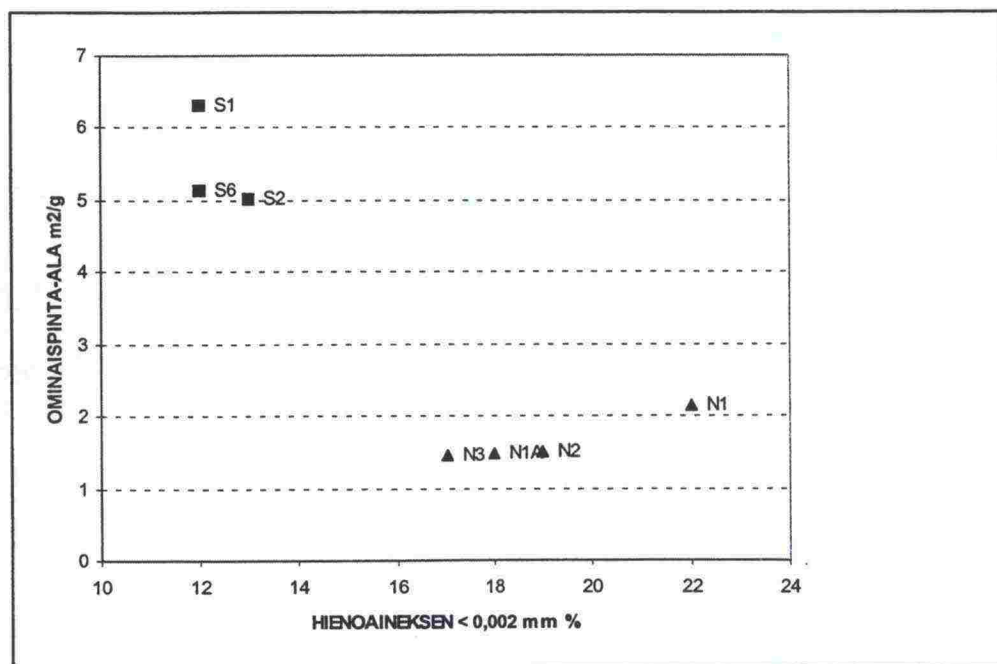
Ominaispinta-alan ja rakeisuuden välinen korrelaatio on lähes täysin riippuvainen lähtömateriaalista. Hienoainemäärän vaikutus ominaispinta-alaan oli vähäinen. Kuvassa 26 on esitetty ominaispinta-alan ja seulan 0,063 mm läpäisyarvon välinen korrelaatio sekä kuvassa 27 ominaispinta-alan ja hienoaineksen ( $< 0,063 \text{ mm}$ ) 0,002 mm läpäisyarvon välinen korrelaatio. N-näytteillä hienoainemäärän kasvu lisää vain vähän ominaispinta-alaa. Sen sijaan S-näytteillä hienoaineksen määrä vaikuttaa selvästi ominaispinta-alaan. Toisaalta tulokset ovat jossain määrin ristiriitaisia, koska S-näytteillä ominaispinta-alan ja 0,063 mm läpäisyn välinen korrelaatio on positiivinen, mutta ominaispinta-alalla ja hienoaineksen alle 0,002 mm osuudella negatiiv-



vinen. Tarkasteltaessa lisäksi alkuperäisen näytteen läpäisyarvoja 0,002 mm ja 0,006 mm kohdilla voidaan todeta, että hienoainesmäärällä ei ole juurikaan vaikutusta ominaispinta-alaan ja erot voivat johtua myös luonnollisesta hajonnasta (liite 4).



Kuva 26. Ominaispinta-alan ja 0,063 mm läpäisyarvon välinen riippuvuus ( $r = -0,15$ ; N-fillereillä  $r = 0,88$  \* ja S-fillereillä  $r = 0,83$ ).



Kuva 27. Ominaispinta-alan ja hienoaineksen (< 0,063 mm) alle 0,002 mm ainekseen osuuden välinen riippuvuus ( $r = -0,86$  \*\*; N-fillereillä  $r = 0,95$  \* ja S-fillereillä  $r = -0,57$ ).

Hienoainesominaisuuksien keskinäistä vaikutusta tarkasteltaessa voidaan todeta materiaalien käyttäytyvän yksilöllisesti. Tyhjätila on riippuvainen sekä ominaispinta-alasta että myös materiaalin rakeisuudesta kuten myös mineralogisista seikoista. Ominaispinta-alaan vaikuttavat mineralogiset seikat eli mistä mineraaleista materiaali koostuu sekä kiviaineksen rakenne. Nämä kaikki vaikuttavat kiviaineksen käyttäytymiseen murskauksessa.

Hienon aineksen määrällä näytteessä ei ollut juuri merkitystä ominaispinta-alaan, tosin prosentteina laskien N-näytteillä suurimman ja pienimmän ominaispinta-alan omaavilla näytteillä 0,063 mm kohdalla läpäisyprosentin kasvaessa 74 % ominaispinta-ala kasvoi 48 %. Lukuarvona ominaispinta-alan kasvu oli  $0,7 \text{ m}^2/\text{g}$ , kun taas läpäisyprosentin kasvu oli 41,7 %-yksikköä.

## 5.2 Suhteitus

Suhteitus- ja päällysteominaisuuksia ovat tässä tutkimuksessa päällystetä massan täytejauheen määrä (filleri %) ja kiviaineksen 0,074 mm läpäisy-% sekä päällystelaatoista määritetyt sideainepitoisuus, tyhjätila, kiviaineksen tyhjätila, täyttöaste ja päällysteen tiheys.

Massojen suhteituksessa pyrittiin saamaan niiden ominaisuudet keskenään samanlaisiksi. Karkean kiviaineksen lajitteiden ollessa samat joka massassa muuttujina olivat massan suhteituksessa sideainepitoisuus sekä kiviainesuhteituksessa täytejauheen määrä kiviaineksen painosta. Kiviaineseoksien 0,074 mm läpäisyarvot olivat välillä 8,5 - 9,6 % johtuen hienoaineseoksen kalkkikivijauheosan rakeisuuseroista. Sideainepitoisuudet olivat välillä 6,0 - 6,4 %.

Tarkasteltaessa tässä kappaleessa käsiteltyjen ominaisuuksien riippuvuuksia kalkkikivijauheiden ominaisuuksien kanssa saadaan taulukossa 4 esitetyt korrelaatiokertoimet  $r$  (lineaarinen korrelaatio). Taulukossa on esitetty vain niiden muuttujien väliset korrelaatiokertoimet, joilla jossakin havaintosarjassa (kaikki fillerit, N- tai S-fillerit) on merkitsevä (\*\*\*, \*\*, \*, ks. kappale 5.1) korrelaatio. Kaikilla fillereillä ( $n = 7$ ) on esitetty myös niiden muuttujien väliset korrelaatiokertoimet, joilla on tilastollisesti suuntaa-antava (merkitsevyys  $^\circ$ ) korrelaatio. Kaikki edellä mainitut korrelaatiokertoimet on esitetty taulukossa lihavoituna. Lihavoimattomat arvot ovat samojen muuttujien muissa havaintosarjoissa saatuja korrelaatiokertoimia, jotka esitetään taulukossa tulosten kokonaisvaltaisen tarkastelun vuoksi. Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava näytteiden vähäisyys, niiden alkuperäiset valintakriteerit tutkimukseen ja näytteiden jakautuminen tästä syystä kahteen ryhmään sekä muuttujien keskinäiset vaikutussuhteet.

Päällysteen sideainepitoisuus korreloi parhaiten kalkkikivijauheen hienoaineksen alle 0,002 mm osuuden, tyhjätilan ja ominaispinta-alan kanssa. Tyhjätilan ja ominaispinta-alan kasvaessa luonnollisesti myös tarvittava sideaineen määrä kasvaa (kuvat 28 ja 29). Tarkasteltaessa ominaispinta-alan vaikutusta sideainepitoisuuteen näkyy S-kalkkikivi-jauheiden suuren ominaispinta-alan vaikutus selvästi sideainetarvetta lisäävänä. Sen sijaan N-näytteillä ominaispinta-ala ei yksinään selitä sideainetarvetta, vaan sideai-



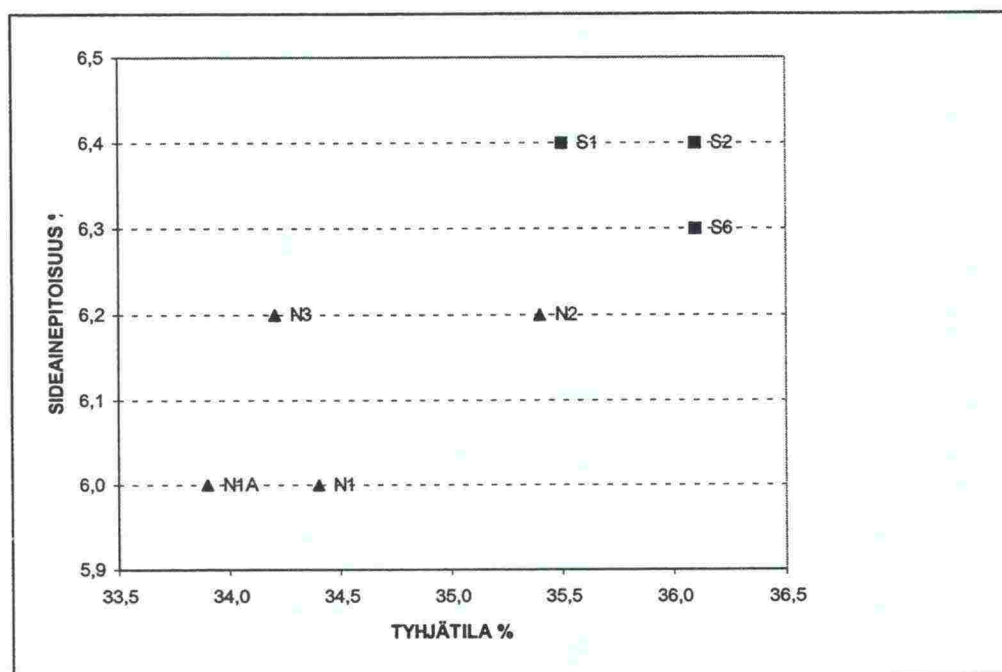
netarpeeseen vaikuttavat myös muut hienoaineksen ominaisuudet, jotka kaikki vaikuttavat yhdessä päällystemastiksiin. Tyhjätilan vaikutus sideainetarpeeseen on hieman selkeämpi kuin ominaispinta-alan.

Kuvissa 30 ja 31 on esitetty rakeisuuden vaikutus sideainetarpeeseen. Kuvissa on rakeisuustekijänä rakeisuuden 0,063 mm läpäisyarvo ja hienoaineksen alle 0,002 mm aineksen osuus. Kokonaisuutena asiaa tarkastellen korrelaatio on molemmilla rakeisuuksilla negatiivinen ja varsinkin hienoaineksen alle 0,002 mm osuuden suhteen hyvinkin selkeä. Pelkästään läpäisyarvona ilmaistuna sideainetarve on sitä pienempi mitä hienompaa materiaali on.

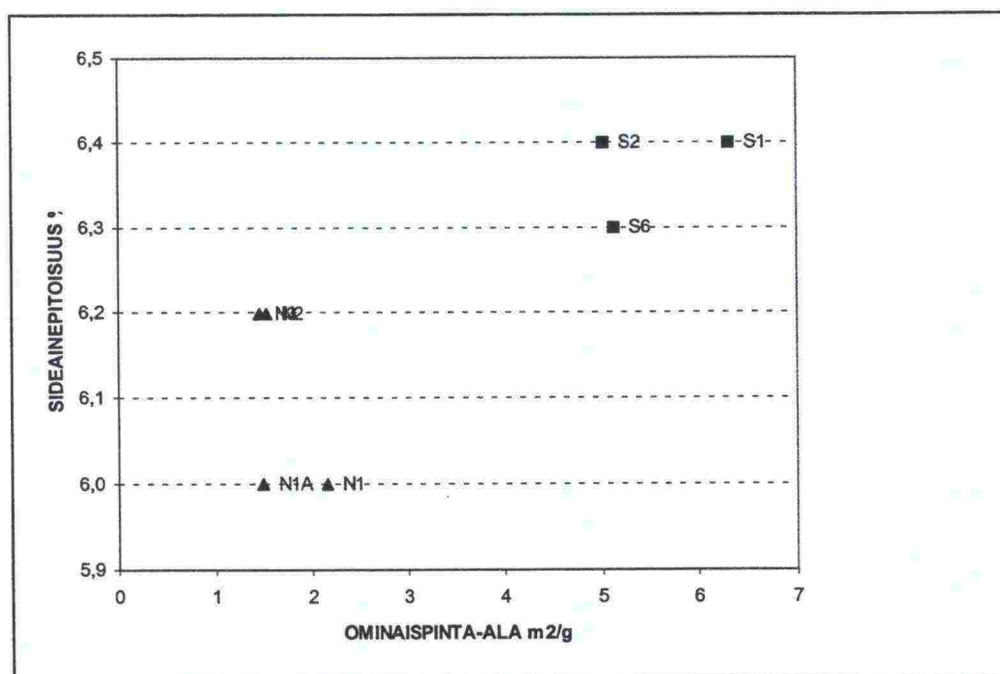
S-näytteillä läpäisyarvot ovat hyvin lähellä toisiaan ja sideainepitoisuuserot ovat marginaaliset. N-näytteillä asiaa voidaan tarkastella hienoaineksen määrän tai sideainepitoisuuden perusteella. Saman suuruisten sideainepitoisuuksien perusteella hienoaineksen määrällä ei ollut vaikutusta sideainepitoisuuden määräytymiseen. Vastaavasti läpäisyarvojen perusteella sideainepitoisuutta tarkastellen suurempi hienoainesmäärä vähensi sideainetarvetta.

Taulukko 4. Korrelaatiokertoimet.

Ominaisuus	Ominaisuus	Kaikki fillerit (n = 7)	N-fillerit (n = 4)	S-fillerit (n = 3)
Filleri-%	0,125 mm läp.	<b>-0,98 ***</b>	<b>-0,99 **</b>	<b>-0,99 **</b>
	0,063 mm läp.	<b>-0,83 *</b>	<b>-0,97 **</b>	<b>-0,99 **</b>
	0,002 mm läp.	-0,49	<b>-0,98 **</b>	-0,93 °
	Hienoain. 0,002 mm	-0,09	<b>-0,92 *</b>	<b>0,96 *</b>
	Kiintotiheys	0,06	<b>-0,97 **</b>	<b>0,99 **</b>
0,074 mm läp.	Ominaispinta-ala	<b>-0,95 ***</b>	<b>1,00 ***</b>	<b>1,00 **</b>
	Hienoain. 0,002 mm	<b>0,93 ***</b>	<b>0,93 *</b>	-0,50
	Liukoisuus	<b>0,89 **</b>	0,33	0,92 °
	Tyhjätila	<b>-0,85 **</b>	-0,08	<b>-1,00 ***</b>
	0,002 mm läp.	<b>0,73 *</b>	0,84 °	0,42
	Kiintotiheys	<b>0,69 °</b>	0,82 °	-0,63
Sideainepitoisuus	Hienoain. 0,002 mm	<b>-0,87 **</b>	-0,53	0,50
	Tyhjätila	<b>0,83 *</b>	0,58	-0,50
	Ominaispinta-ala	<b>0,81 *</b>	-0,58	0,43
	0,002 mm läp.	<b>-0,79 *</b>	-0,55	-0,57
	Liukoisuus	<b>-0,71 *</b>	0,49	0,12
Pääll. tyhjätila	0,063 mm läp.	0,21	0,24	<b>-0,99 **</b>
	Liukoisuus	0,04	-0,70	<b>-0,99 **</b>
Kiviain. tyhjätila	0,002 mm läp.	<b>-0,87 **</b>	-0,83 °	0,00
	0,063 mm läp.	<b>-0,82 *</b>	-0,84 °	0,00
	Hienoain. 0,002 mm	<b>-0,76 *</b>	-0,80	0,00
Täyttöaste	Tyhjätila	0,50	<b>0,92 *</b>	-0,87
	0,063 mm läp.	-0,05	-0,04	<b>0,99 **</b>
	Liukoisuus	0,02	0,80	<b>0,99 **</b>
Pääll. tiheys	Liukoisuus	<b>0,67 °</b>	0,66	0,88
	0,002 mm läp.	0,34	-0,10	<b>0,97 *</b>
	Hienoain. 0,002 mm	0,22	-0,19	<b>-0,99 *</b>
	Tyhjätila	-0,18	<b>0,92 *</b>	-0,62
	0,063 mm läp.	0,14	-0,09	<b>0,97 *</b>

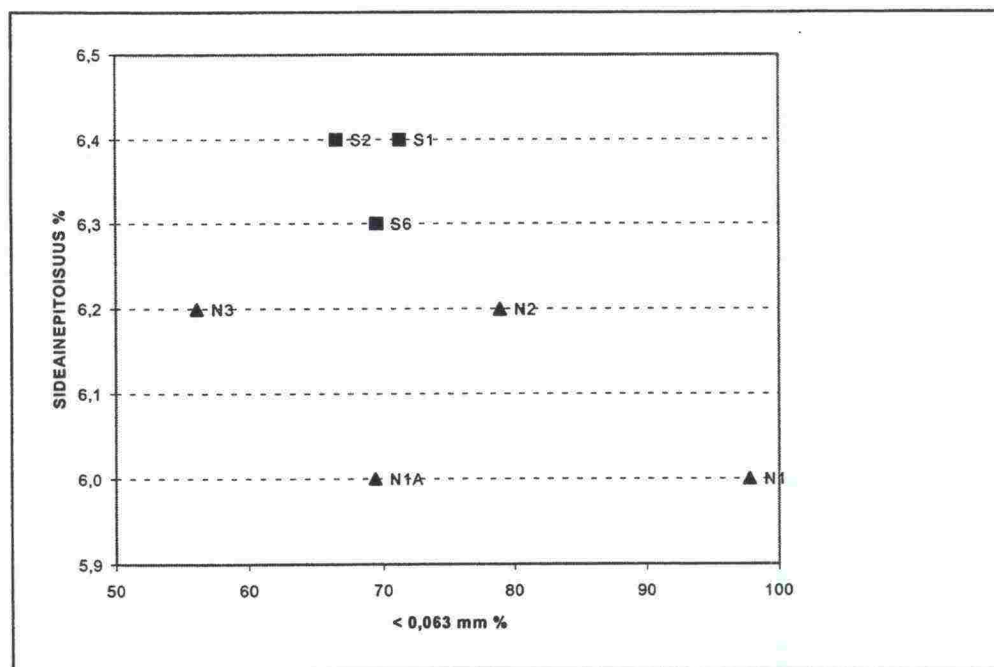


Kuva 28. Kalkkikivijauheiden tyhjätilan vaikutus päällysteen sideainepitoisuuteen ( $r = 0,83$  \*; N-fillereillä  $r = 0,58$  ja S-fillereillä  $r = -0,50$ ).

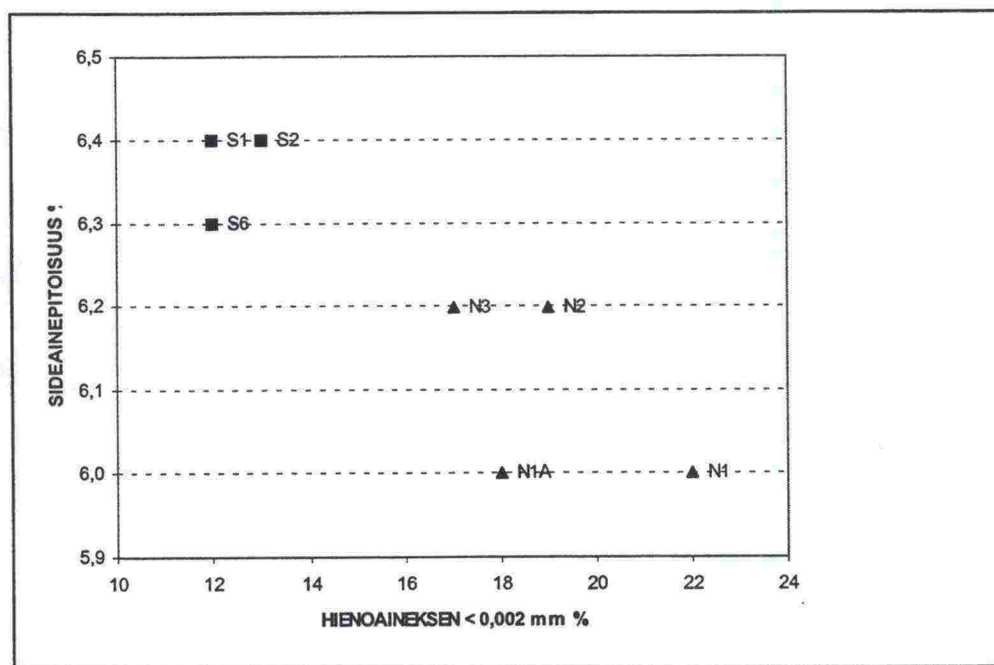


Kuva 29. Kalkkikivijauheiden ominaispinta-alan vaikutus päällysteen sideainepitoisuuteen ( $r = 0,81$  \*; N-fillereillä  $r = -0,58$  ja S-fillereillä  $r = 0,43$ ).





Kuva 30. Kalkkikivijauheiden 0,063 mm läpäisyn vaikutus päällysteen sideainepitoisuuteen ( $r = -0,48$ ; N-fillereillä  $r = -0,53$  ja S-fillereillä  $r = -0,14$ ).



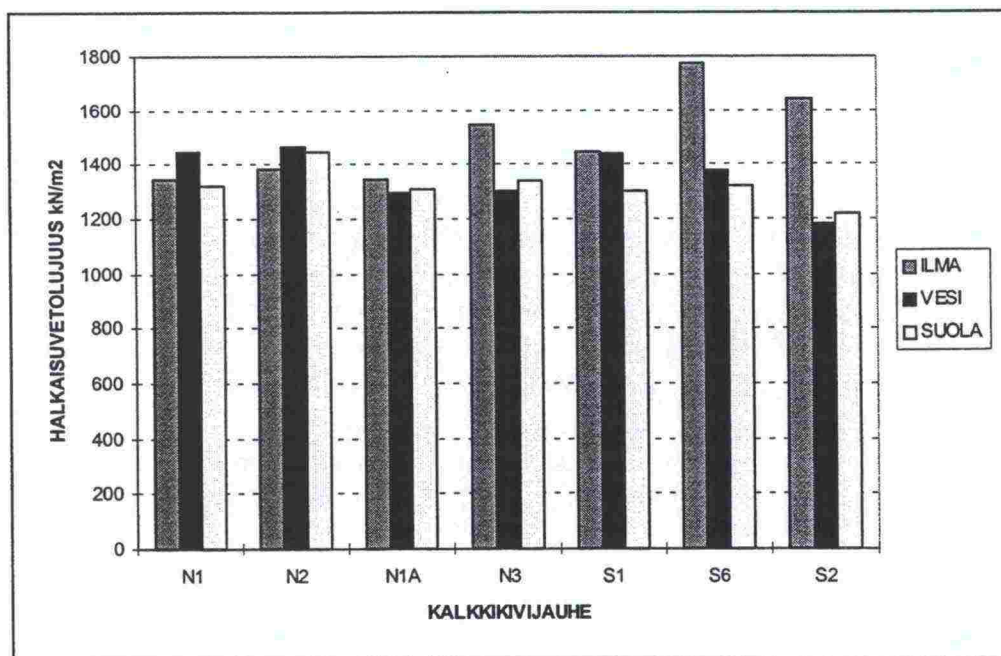
Kuva 31. Kalkkikivijauheiden hienoaineksen alle 0,002 mm aineksen osuuden vaikutus päällysteen sideainepitoisuuteen ( $r = -0,87^{**}$ ; N-fillereillä  $r = -0,53$  ja S-fillereillä  $r = 0,50$ ).

Kalkkikivijauheiden vaikutukset massan työstettävyyteen eivät poikenneet toisistaan merkittävästi, kuten kuvista 8 - 11 voi havaita. Massojen tiheydet kasvoivat samanlailla ja leikkausvoimien muutokset olivat saman suuntaisia. Kuitenkin numeerisia arvoja tarkastellen S-kalkkikivijauheita käyttäen leikkauslujuudet ja massan tiheydet tulivat hieman suuremmiksi kuin N-kalkkikivijauheita käyttäen.

### 5.3 Veden- ja suolankesto

Vedenkestävyyskoe tehtiin PANK-menetelmästä poiketen kuusi kuukautta säilytyksessä olleista koekappaleista, koska tutkimuksessa haluttiin selvittää erityisesti päällysteen pitkäaikaista veden-kestävyyttä täytejauheina olevilla eri kalkkikivijauheilla. Asfalttinormeissa olevaa vaatimusta tartuntalujuille ei täten voida sodeltaa tässä tutkimuksessa saaduille tartuntalujuille.

Kuvassa 32 esitetään keskitetysti niin ilma-, vesi- kuin suolavesisäilytyksessä olleiden koekappaleiden halkaisuvetojuudet rinnakkaisnäytteiden keskiarvona. Eri halkaisuvetolujuusarvot korreloivat keskenään varsin huonosti: ilma- ja vesisäilytteisten  $r = -0,43$ , ilma- ja suolavesisäilytteisten  $r = -0,38$  sekä vesi- ja suolavesisäilytteisten  $r = 0,69$ . Erikseen N- ja S-fillereille lasketut korrelaatiokertoimet ovat myös alhaisia lukuun ottamatta S-fillereiden vesisäilytteisten ja suolavesisäilytteisten halkaisuvetolujuuksien välistä korrelaatiota ( $r = 0,92$ ).



Kuva 32. Ilma-, vesi- ja suolasäilytyksessä olleiden poranäytteiden halkaisuvetoluudet rinnakkaisnäytteiden keskiarvona.

Ilmasäilytteisillä näytteillä saatiin S-kalkkikivijauheita käyttäen keskiarvona noin 15 % suurempia halkaisuvetolujuuksia kuin N-kalkkikivijauheita käyttäen. Vesisäilytteisten näytteiden halkaisuvetolujuudet olivat keskenään samaa tasoa paitsi S2-kalkkikivijauheella, jolla pienimmän halkaisuvetolujuu-



den lisäksi oli pienin liukoisuusarvo suolahappoon. Myös suolavesisäilytteillä näytteillä lujuudet olivat keskenään samaa tasoa lukuunottamatta S2-näytteitä.

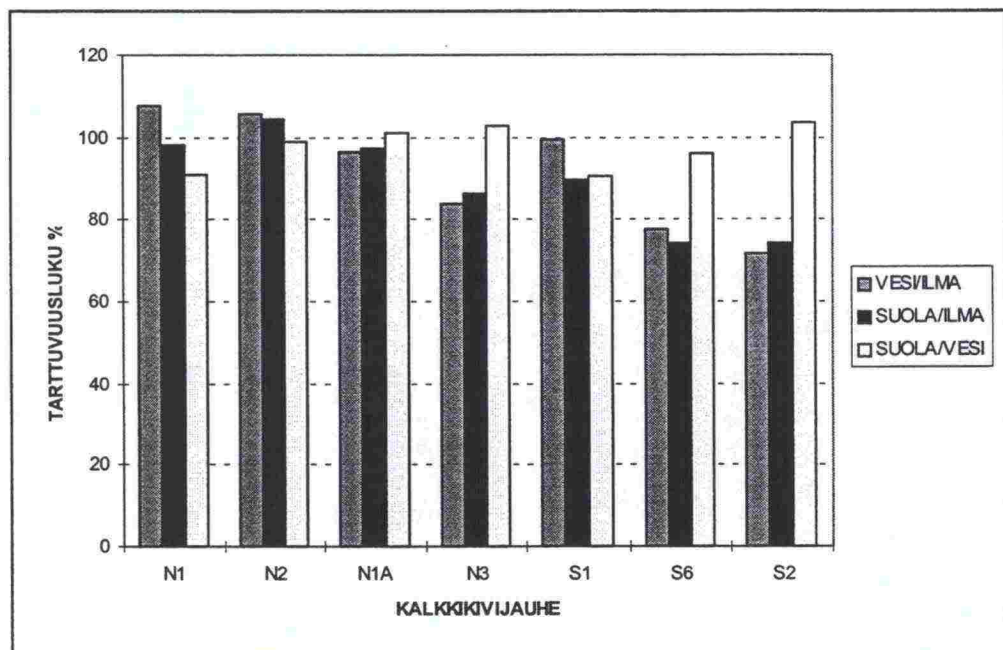
Suolavesisäilytys ei eronnut vesisäilytyksestä, vaan molemmilla saatiin samaa suuruusluokkaa olevia halkaisuvetolujuuksia.

Kuvassa 33 esitetään puolestaan niin ilma-, vesi- kuin suolavesisäilytyksessä olleiden koekappaleiden halkaisuvetojuuksista lasketut tarttuvuusluvut. Tarttuvuusluvuista vain vesi/ilma-suhde ja suolavesi/ilma-suhde korreloivat keskenään hyvin ( $r = 0,93$  \*\*\*; N-fillereillä  $r = 0,88$  \* ja S-fillereillä  $r = 0,98$  \*). Vesi/ilma-suhteen ja suolavesi/vesi-suhteen välinen  $r = -0,57$  (N-fillereillä  $r = -0,79$  ja S-fillereillä  $r = -0,91$  °) sekä suolavesi/ilma-suhteen ja suolavesi/vesi-suhteen välinen  $r = -0,24$  (N-fillereillä  $r = -0,41$  ja S-fillereillä  $r = -0,82$ ).

Tarttuvuusluku vesi/ilma-suhteenä oli N-näytteillä välillä 84,0 - 107,9 % keskiarvon ollessa 98,5 %. Vastaavat arvot S-näytteillä olivat 71,8 - 99,4 % ja 82,9 %. Suolavesi/ilma-säilytteillä arvot olivat 86,3 - 104,6 % ja 96,6 % sekä 74,3 - 90,0 % ja 79,6 %. Suhteelliset erot ovat selvät eri alkuperää olevien kalkkikivijauheiden kesken. Erot johtuvat juuri kalkkikivijauheiden ominaisuuksien vaikutuksesta eri olosuhteissa eli mitä lujuuksia saadaan ilma- ja vesisäilytteillä näytteillä. S-kalkkikivijauheilla saatiin suurempia halkaisuvetolujuuksia ilmasäilytteillä koekappaleilla ja samaa suuruusluokkaa vesisäilytteillä näytteillä kuin N-kalkkikivijauheita käyttäen. Tällöin tarttuvuusluku suhde tulee N-näytteillä selvästi paremmaksi kuin S-näytteillä. Tarttuvuuslukua arvioitaessa tulisikin suhdeluvun lisäksi kiinnittää huomiota halkaisuvetolujuustasoihin.

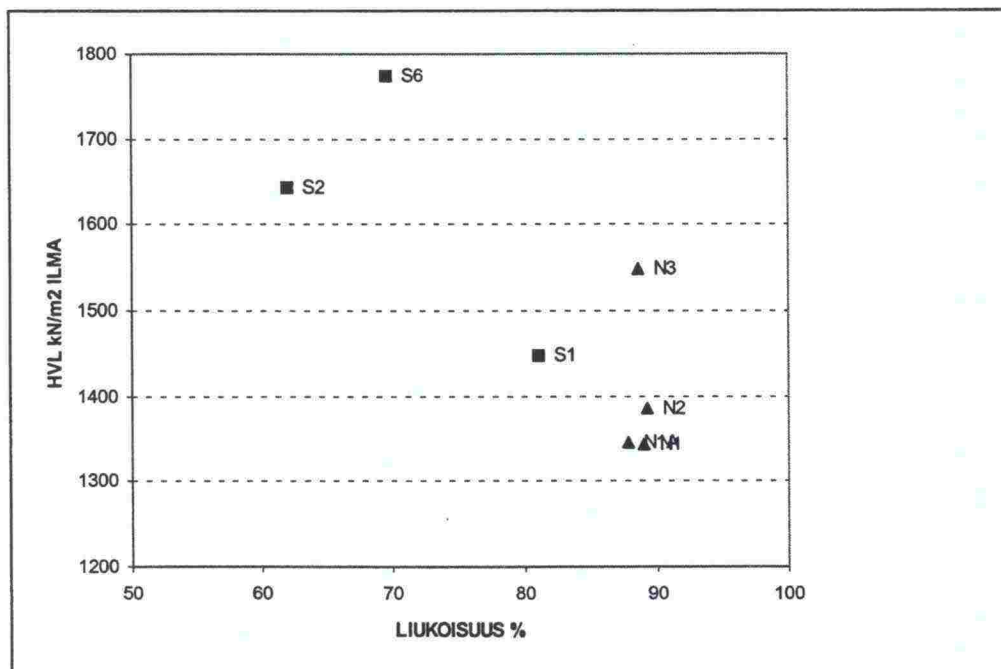
Verrattaessa vesisäilytteisten S-näytteiden halkaisuvetolujuuksia N2-näytteen (ns. normaali kalkkifilleri) ilmasäilytteiseen halkaisuvetolujuuteen saadaan arvoiksi S1-näytteelle 103,9 %, S2-näytteelle 85,2 % ja S6 näytteelle 99,3 %. Vastaavasti N2-näytteen vesisäilytteiseen arvoon verrattuna arvoiksi saadaan 98,4, 80,7 ja 94,0 %. Näin laskettuna S-näytteiden tarttuvuusluku on samaa tasoa kuin N-näytteillä lukuun ottamatta S2-näytettä. Kalkkikivijauheella S2 liukoisuus suolahappoon oli 62,0 % ja jauheella S6 69,5 %. Tulosten perusteella kalkkikivijauheelle asetettavaa liukoisuusvaatimusta voitaisiin selvästi alentaa.

Tarkasteltaessa tässä kappaleessa käsiteltyjen halkaisuvetolujuuksien ja tarttuvuuslukujen riippuvuuksia kappaleessa 5.1 käsiteltyjen kalkkikivijauheiden ominaisuuksien ja kappaleessa 5.2 käsiteltyjen suhteitus- ja päällyste-ominaisuuksien kanssa saadaan taulukossa 5 esitetyt korrelaatiokertoimet ( $r$ ; lineaarinen korrelaatio). Taulukossa esitetyt korrelaatiokertoimet on valittu samalla periaatteella kuin kappaleen 5.2 taulukossa 4.



Kuva 33. Kuusi kuukautta ilma-, vesi- ja suolasäilytyksessä olleiden poranäytteiden halkaisuvetolujuuksista lasketut tarttuvuusluvut.

Kuten taulukosta 5 ilmenee ilmasäilytysteisten SMA 16-päällystenäytteiden halkaisuvetolujuuteen vaikuttaa eniten kalkkikivijauheiden liukoisuus mineraalikoostumuksen kautta sekä rakeisuus. Kalkkikivijauheen liukoisuuden ja < 0,002 mm määrän kasvaessa lujuusarvot pienenevät (kuvat 34 ja 35).

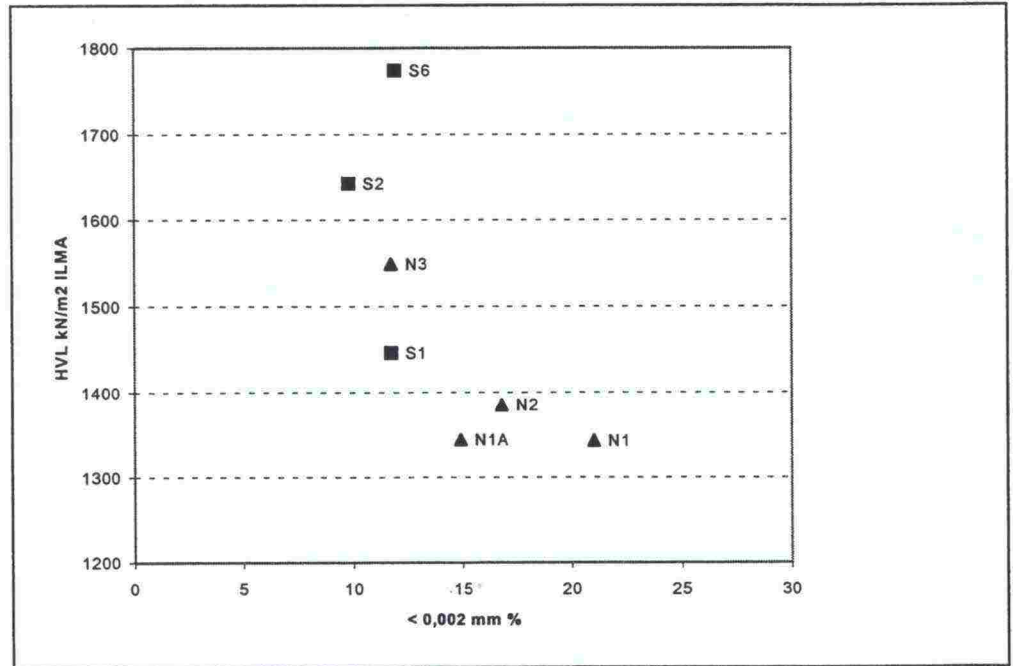


Kuva 34. Ilmasäilytysteisten päällystenäytteiden halkaisuvetolujuuden riippuvuus kalkkikivijauheen liukoisuudesta ( $r = -0,80$  \*; N-fillereillä  $r = 0,05$  ja S-fillereillä  $r = -0,69$ )



Taulukko 5. Korrelaatiokertoimet.

Ominaisuus	Ominaisuus	Kaikki fillerit (n = 7)	N-fillerit (n = 4)	S-fillerit (n = 3)
HVL ilmasäil.	Liukoisuus	-0,80 *	0,05	-0,69
	Hienoain. 0,002 mm	-0,74 *	-0,65	0,11
	Kiviain. 0,074 mm läp.	-0,74 *	-0,42	-0,92 °
	0,002 mm läp.	-0,71 *	-0,77	-0,03
	Tyhjätila	0,68 °	-0,10	0,92 °
	Sideainepitoisuus	0,65 °	0,73	-0,80
HVL vesisäil.	Pääll. tiheys	0,83 *	0,50	0,99 **
	Kiviain. tyhjätila	-0,65 °	-1,00 ***	0,00
	0,002 mm läp.	0,63 °	0,79	0,95 °
	0,063 mm läp.	0,62	0,81 °	0,99 **
	Täyttöaste	0,61	0,56	0,96 *
	Pääll. tyhjätila	-0,49	-0,38	-0,96 *
	Filleri-%	-0,48	-0,80	-1,00 ***
	0,125 mm läp.	0,44	0,85 °	0,99 *
	Hienoain. 0,002 mm	0,34	0,76	-0,97 *
HVL suolavesi	Kiintotiheys	-0,25	0,66	-1,00 **
	Pääll. tiheys	0,87 **	0,99 ***	0,95 *
	Liukoisuus	0,67 °	0,70	0,69
	0,002 mm läp.	0,48	0,02	1,00 **
	Hienoain. 0,002 mm	0,47	-0,07	-0,99 *
	Täyttöaste	0,45	0,95 *	0,77
	Pääll. tyhjätila	-0,38	-0,89 *	-0,77
	Tyhjätila	-0,18	0,96 *	-0,35
	Kiintotiheys	0,10	-0,13	-0,95 °
Tarttuvuusluku vesi/ilma	0,002 mm läp.	0,82 *	0,93 *	0,59
	Liukoisuus	0,81 *	0,49	0,98 *
	Kiviain. tyhjätila	-0,72 *	-0,88 *	0,00
	0,063 mm läp.	0,69 °	0,92 *	0,89
	Hienoain. 0,002 mm	0,69 °	0,84 °	-0,66
	Kiviain. 0,074 mm läp.	0,64 °	0,58	0,98 *
	Pääll. tiheys	0,63 °	0,20	0,76
	Tyhjätila	-0,48	0,52	-0,98 *
	Ominaispinta-ala	-0,42	0,64	0,99 **
	Filleri-%	-0,39	-0,98 **	-0,84
	0,125 mm läp.	0,31	1,00 ***	0,90
	Kiintotiheys	0,21	0,90 *	-0,77
Tarttuvuusluku suola/ilma	Liukoisuus	0,88 **	0,38	0,92 °
	Kiviain. 0,074 mm läp.	0,80 *	0,13	1,00 ***
	Hienoain. 0,002 mm	0,78 *	0,49	-0,50
	0,002 mm läp.	0,77 *	0,65	0,43
	Kiviain. tyhjätila	-0,70 °	-0,72	0,00
	Ominaispinta-ala	-0,66 °	0,20	1,00 **
	Sideainepitoisuus	0,65 °	-0,17	0,50
	Tyhjätila	-0,59	0,66	-1,00 ***
Tarttuvuusluku suola/vesi	Filleri-%	0,69 °	0,88 *	0,99 *
	0,063 mm läp.	-0,66 °	-0,96 **	-1,00 ***
	0,125 mm läp.	-0,63 °	-0,82 °	-1,00 ***
	0,002 mm läp.	-0,45	-0,96 **	-0,87
	Kiintotiheys	0,45	-0,92 *	0,96 *
	Täyttöaste	-0,45	0,13	-0,99 **
	Pääll. tiheys	-0,40	0,25	-0,96 *
	Ominaispinta-ala	-0,37	-0,98 **	-0,86
	Pääll. tyhjätila	0,35	-0,31	0,99 **
	Liukoisuus	-0,20	-0,45	-0,98 *
	Kiviain. 0,074 mm läp.	0,10	-0,96 *	-0,82
	Hienoain. 0,002 mm	-0,05	-1,00 ***	0,91 °

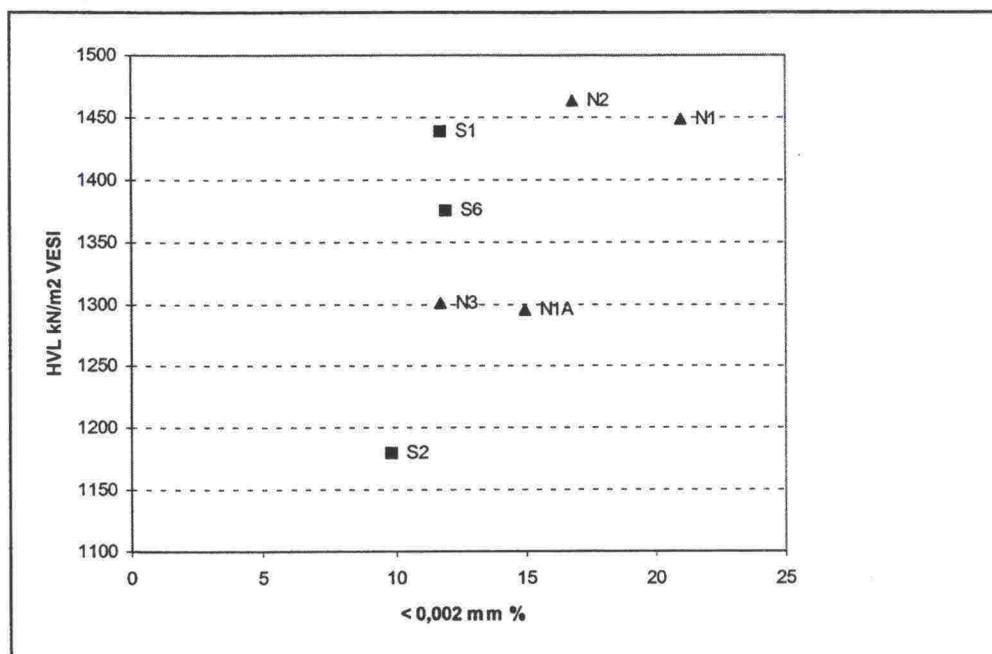


Kuva 35. Ilmasäilytteisten näytteiden halkaisuvetolujuuden riippuvuus kalkkikivijauheen alle 0,002 mm aineksen määrästä ( $r = -0,71$  \*; N-fillereillä  $r = -0,77$  ja S-fillereillä  $r = -0,03$ ).

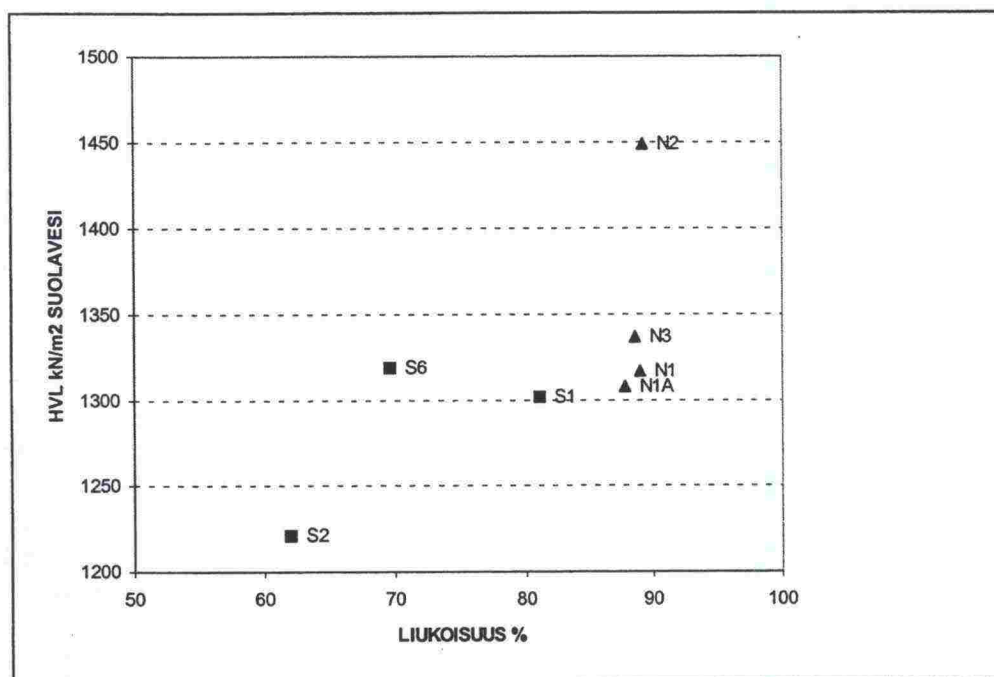
Kalkkikivijauheen hienon aineksen määrän vaikutus ilmasäilytteisten koekappaleiden halkaisuvetolujuuteen näkyi 0,002 mm läpäisyarvon lisäksi myös 0,006 mm ja 0,063 mm läpäisyarvoissa täysin saman suuntaisesti (liite 5). Sen sijaan N- ja S-näytteiden ominaispinta-alalla ei ollut ryhmittäin tarkastellen juurikaan vaikutusta halkaisuvetolujuuteen (liite 6). Ryhmiä yhdessä tarkastellen niiden tulkintaa vaikeuttaa niiden käyttäytyminen kahtena joukkona, jolloin ominaisuuksien välille saadaan lähes aina jonkin asteinen riippuvuus.

Vesisäilytteisten näytteiden halkaisuvetolujuusarvot vaikuttavat kasvavan päällysteen tiheyden ja kalkkikivijauheen alle 0,002 mm aineksen määrän kasvaessa (kuva 36) sekä päällysteen kiviaineksen tyhjätilan (KAT) pienentyessä. Hienoaineksen määrän vaikutus on juuri päinvastainen kuin ilmasäilytteisillä koekappaleilla. Pelkästään kalsiittisten N-fillerien halkaisuvetolujuuksia tarkastelemalla saadaan paras korrelaatio päällysteen kiviaineksen tyhjätilan (KAT) kanssa. Kiviaineksen tyhjätilan kasvaessa lujuusarvot pienenevät. Dolomiittiset S-fillerit saavat puolestaan hyviä korrelaatiokertoimia halkaisuvetolujuuden ja useiden eri ominaisuuksien välille.

Suolavesisäilytteisten näytteiden lujuusarvot korreloivat puolestaan parhaiten päällysteen tiheyden ja täytejauheen liukoisuuden kanssa (kuva 37). Tässä tapauksessa tosin päinvastoin kuin ilmasäilytteisillä näytteillä liukoisuuden kasvaessa myös halkaisuvetolujuudet kasvavat.



Kuva 36. Vesisäilytteisten koekappaleiden halkaisuvetolujuuden riippuvuus kalkkikivijauheen alle 0,002 mm aineksen määrästä ( $r = 0,63^\circ$ ; N-fillereillä  $r = 0,79$  ja S-fillereillä  $r = 0,95^\circ$ ).

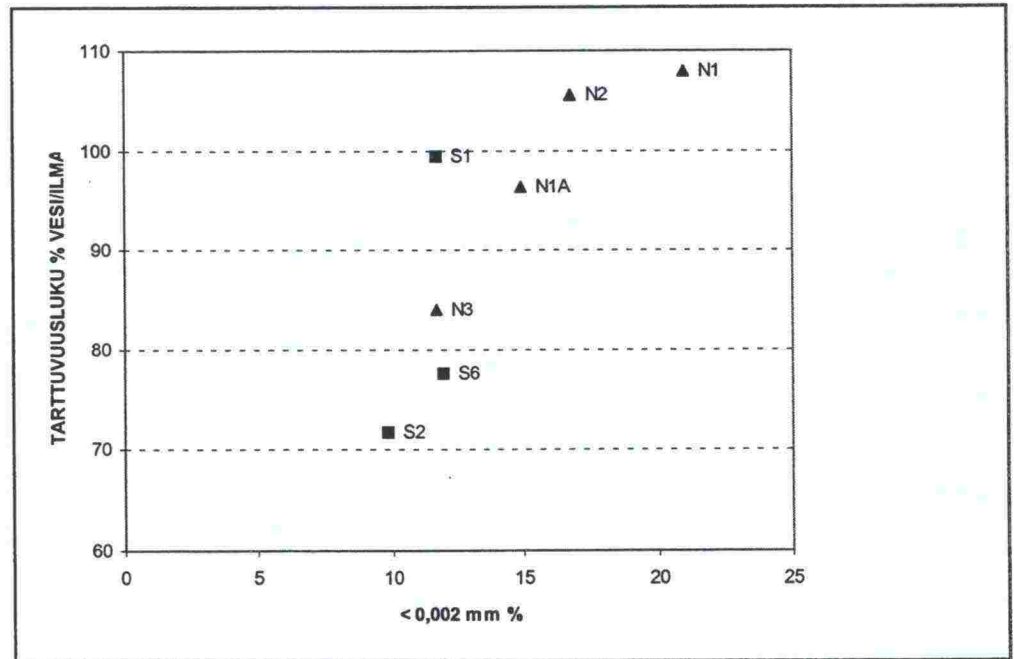


Kuva 37. Suolavesisäilytteisten päällystenäytteiden halkaisuvetolujuuden riippuvuus kalkkikivijauheen liukoisuudesta ( $r = 0,67^\circ$ ; N-fillereillä  $r = 0,70$  ja S-fillereillä  $r = 0,69$ ).

Vesi- ja ilmasäilytteisten näytteiden halkaisuvetolujuuksien suhteena määritetty tarttuvuusluku kuvaa päällystenäytteiden vedenkestävyyttä. Kuten taulukosta 5 selviää vedenkestävyys lisääntyy kalkkikivijauheiden hienoaineksen määrän ja liukoisuuden kasvaessa (kuvat 38 ja 39) sekä päällysteen ki-  
viaineksen tyhjätilan pienentyessä.

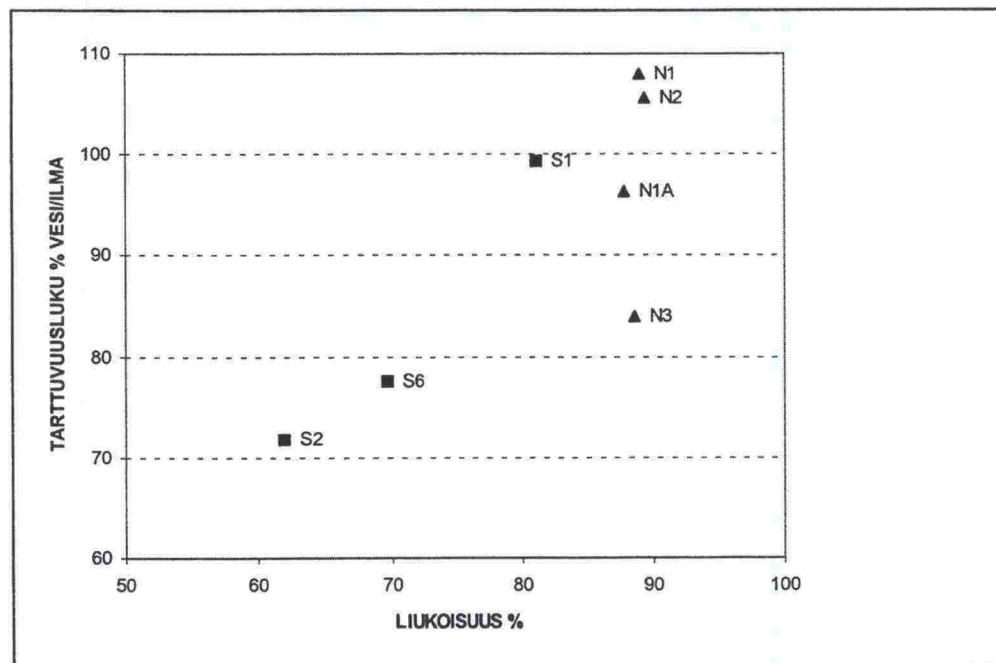
Suolavesi- ja ilmasäilytteisten näytteiden halkaisuvetolujuuksien suhteena määritetty tarttuvuusluku kuvaa päällystenäytteiden suolavedenkestävyyttä. Suolavedenkestävyyteen vaikuttavat samat ominaisuudet kuin vedenkestävyyteenkin. Kuvassa 40 esitetään täytejauheen liukoisuuden vaikutus näyt-  
teiden suolankestävyyteen.

Molemmat edellä mainitut tarttuvuusluvut korreloivat huonosti täytejauheen ominaispinta-alan ja tyhjätilan kanssa. Näiden viimeksi mainittujen ominai-  
suuksien lukuarvon kasvaessa päällysteen vedenkestävyys vaikuttaa kyllä-  
kin jonkin verran heikkenevän. S-fillereillä saadaan mainituilla muuttujilla korkeita korrelaatiokertoimia, mutta näillä täytejauheilla ominaispinta-alan kasvaessa myös vedenkestävyys lisääntyy (kuvat 41 ja 42).

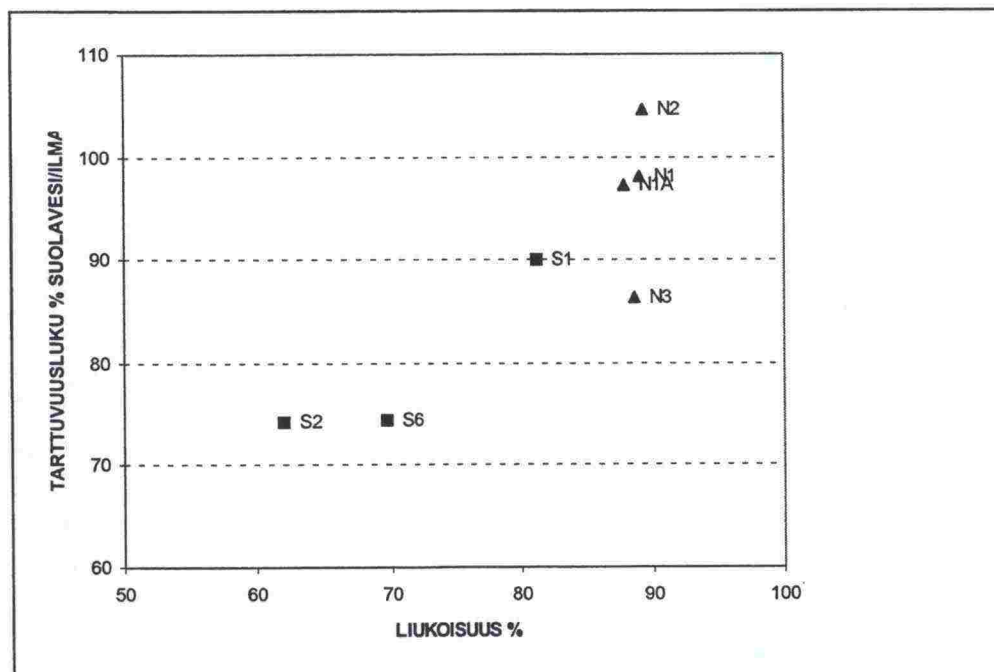


Kuva 38. Päällystenäytteiden vedenkestävyyden (HVL vesi/ilma) riippuvuus kalkkikivijauheen alle 0,002 mm aineksen määrästä ( $r = 0,82 *$ ; N-fillereillä  $r = 0,93 *$  ja S-fillereillä  $r = 0,59$ ).

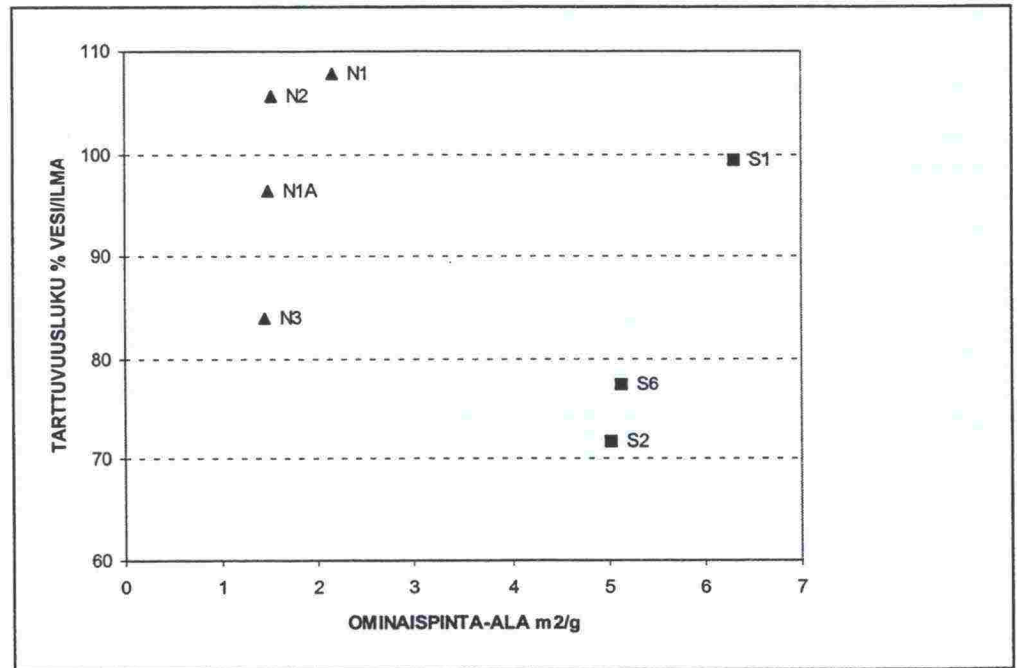




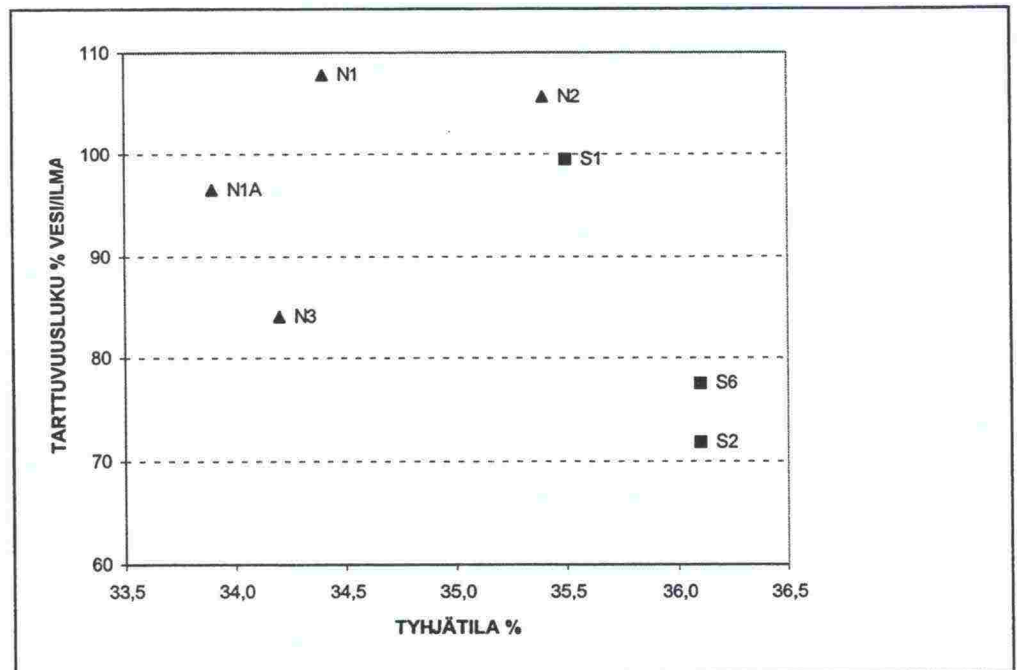
Kuva 39. Päällystenäytteiden vedenkestävyyden (HVL vesi/ilma) riippuvuus kalkkikivijauheen liukoisuudesta ( $r = 0,81$  \*; N-fillereillä  $r = 0,49$  ja S-fillereillä  $r = 0,98$  \*).



Kuva 40. Päällystenäytteiden suolavedenkestävyyden (HVL suolavesi/ilma) riippuvuus kalkkikivijauheen liukoisuudesta ( $r = 0,88$  \*\*; N-fillereillä  $r = 0,38$  ja S-fillereillä  $r = 0,92$  °).



Kuva 41. Päällystenäytteiden vedenkestävyyden (HVL vesi/ilma) riippuvuus kalkkikivijauheen ominaispinta-alasta ( $r = -0,42$  ; N-fillereillä  $r = 0,64$  ja S-fillereillä  $r = 0,99$  \*\*).



Kuva 42. Päällystenäytteiden vedenkestävyyden (HVL vesi/ilma) riippuvuus kalkkikivijauheen tyhjätilasta ( $r = -0,48$  ; N-fillereillä  $r = 0,52$  ja S-fillereillä  $r = -0,98$  \*).

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Taloudellisesti ja teknisesti onnistunut asfalttipäällyste edellyttää kaikkien päällysteessä olevien materiaalien ominaisuuksien tuntemista ja hallintaa. Päällysteen kiviaineksen hienoainesosa voi olla kiviaineksen murskauksessa syntynyttä hienoainesta tai se voi olla erikseen lisättävää täytejauhetta, jona on perinteisesti käytetty kalkkikivijauhetta. Täytejauheen tarkoituksena on täyttää suhteituksen kannalta hienoainesvajausta ja/tai sillä voidaan parantaa päällysteen suhteitus- tai toiminnallisia ominaisuuksia, joista Suomen olosuhteista johtuen tärkein on pitkäaikainen veden- ja suolankesto.

Tutkimus käsitteli kalkkikivijauheen ominaisuuksista lähinnä rakeisuuden ja liukoisuuden suolahappoon vaikutusta päällysteen suhteitukseen sekä veden- ja suolankeston. Tutkimuksen tulokset koskevat vain käytettyä kivi-mastiksiasfalttia SMA 16 eikä niitä voida suoraan yleistää koskemaan muita asfalttityyppejä. Tehdyistä kokeista voidaan vetää seuraavia johtopäätöksiä:

1. Päällysteen veden- ja suolankeston vaikuttivat erikseen lisättävänä täytejauheena olevan kalkkikivijauheen ominaisuuksista eniten rakeisuus ja liukoisuusarvo suolahappoon.
2. Liukoisuusarvon tulee olla riittävä takaamaan kalkkikivijauheen kiviaineksen ja bitumisen sideaineen välistä tartuntaa parantava vaikutus. Asfalttinormeissa 1995 olevaa kalkkikivijauheen liukoisuusvaatimusta  $> 80 \%$  voitaisiin kokeiden tulosten perusteella alentaa vähintään arvoon  $> 75 \%$  tai arvoon  $> 70 \%$ .
3. Veden- ja suolankestävyys olivat sitä paremmat, mitä hienompaa kalkkikivijauhe oli. Hienousastetta ilmensi parhaiten  $0,002 \text{ mm}$  läpäisyarvo. Asfalttinormeissa olevaa hienoaineksen raekoon  $0,002 \text{ mm}$  rakeisuusvaatimusta  $< 10 \%$  tulisi tarkastella uudelleen. Normeissa oleva vaatimus koskee koko hienoainesseosta, joka koostuu kiviaineksen omasta hienoaineksesta ja erikseen lisättävästä täytejauheesta. Varsinkin niissä seoksissa, joissa suurin osa on kalkkikivijauhetta, kyseistä läpäisyvaatimusta ei tulisi sellaisenaan soveltaa tai vaatimusta voitaisiin lieventää. Hienoainesominaisuudet ovat suhteitustekijöitä, joiden toimivuus selviää ennakkosuhteituksesta.
4. Kalkkikivijauheen ominaispinta-alalla ei ollut juurikaan vaikutusta päällysteen veden- ja suolankeston. Sen sijaan se on suhteitustekijä, joka vaikuttaa ennen kaikkea sideainepitoisuuteen. Asfalttinormeissa oleva hienoainesvaatimus koskee koko hienoainesseosta. Karkeasta kiviaineksesta murskauksessa syntyvä hienoaines saattaa olla joissakin tapauksissa erittäin haitallista ominaisuuksiltaan, jota ominaispinta-ala indikoi. Täten ominaispinta-alavaatimus tulee jossain muodossa säilyttää. Tulisikin harkita koskeeko vaatimus koko hienoainesseosta vai sen komponenttejä erikseen, jolloin kalkkikivijauheen



vaatimusta koko seoksessa voidaan arvioida uudelleen tai asettaa sille omat vaatimukset.

5. Käytetyillä kalkkikivijauheen määrillä ei ollut vaikutusta veden- ja suolankestävyyteen. Sen määrä on suhteitustekijä, jolla massan ominaisuuksia säädellään. Tosin sen määrä tulee olla riittävä, jotta tartunta saadaan riittäväksi.
6. Dolomiittisilla kalkkikivijauheilla saatiin ilmasäilytteisillä näytteillä suurempia halkaisuvetolujuuksia kuin kalsiittisilla kalkkikivijauheilla. Vesisäilytteisillä koekappaleilla lujuudet olivat keskenään samaa luokkaa, jos jauheen liukoisuusarvo suolahappoon oli riittävä. Vedenkestävyyttä arvioitaessa tulisi tarttuvuusluvun, joka lasketaan vesi- ja ilmasäilytteisten kappaleiden suhteena, lisäksi huomioida numeeriset lujuusarvot. Arviointia vaikeuttaa tällä hetkellä eri massoille asetettujen raja-arvojen puute.
7. Ilmasäilytteisten koekappaleiden halkaisuvetolujuus aleni kalkkikivijauheen liukoisuusarvojen kasvaessa ja rakeisuusarvon  $< 0,002$  mm kasvaessa. Vesisäilytteisillä koekappaleilla vaikutus oli päinvastainen.
8. Päällysteen sideainepitoisuus korreloi parhaiten kalkkikivijauheen hienoaineksen ominaispinta-alan, tyhjätilan ja alle  $0,002$  mm osuuden kanssa. Ominaispinta-alan vaikutus vaihteli voimakkaasti eri kalkkikivijauheilla. Pienillä ominaispinta-ala-arvoilla ominaispinta-alamuutos ei yksin vaikuttanut sideainetarpeeseen, vaan siihen vaikuttivat myös muut hienoainesominaisuudet. Kalkkikivijauheen hienoaineksen  $< 0,002$  mm määrän kasvaessa sideainepitoisuus aleni.
9. Kalkkikivijauheiden eri ominaisuuksilla ei ollut vaikutusta massan työstettävyyteen. Niiden optimimäärät massassa tulee selvittää tilavuuspohjaisen suhteituksen kautta.
10. Kalkkikivijauheen hienoaineksen ominaisuuksien riippuvuus toisistaan oli yksilöllinen. Tyhjätila on luonnollisesti riippuvainen sekä ominaispinta-alasta että rakeisuudesta mutta myös mineralogisista seikoista.
11. Kalkkikivijauheet käyttäytyivät yksilöllisesti massassa. Niiden vaikutukset olivat ominaisuuksien summa, eikä toimivuutta voida arvioida suoraan määritettyjen ominaisuusarvojen perusteella.



## 7 LIITTEET

- Liite 1. Massojen tiheydet ja leikkausvoimat.
- Liite 2. Massojen suhteitustulokset.
- Liite 3. Massojen halkaisuvetojuuustulokset.
- Liite 4. Kalkkikivijauheen ominaispinta-alan ja rakeisuuden välinen korrelaatio.
- Liite 5. Kalkkikivijauheen rakeisuuden ja ilmasäilytteisten koekappaleiden halkaisuvetojuuksien välinen korrelaatio.
- Liite 6. Kalkkikivijauheen ominaispinta-alan ja ilmasäilytteisten koekappaleiden välinen korrelaatio

Massa: SMA 16  
 Sideaine: B-80  
 Kivi: Teisko  
 Lisäaineet: Arbocel-kuitu 0,4 %

Tiheydet koekappaleen  
 ulkomittojen mukaan ICT:llä mitattun

Täytejauhe	Sideaine pitoisuus	102 ICT				406 ICT			
		Tiheys (kg/m³)		Leikkausvoima (kN/m)		Tiheys (kg/m³)		Leikkausvoima (kN/m)	
		yks.	ka	yks.	ka	yks.	ka	yks.	ka
N1	5,8	2179		77		2238		64	
	5,8	2180	2180	81	79	2236	2237	67	65
	6	2195		74		2268		65	
	6	2193		78		2267		67	
	6	2213		72		2278		68	
	6	2200	2200	72	74	2262	2268	61	65
	6,4	2177		76		2243		62	
	6,4	2186		66		2262		66	
N1A	6,4	2192	2185	69	70	2264	2256	69	66
	6	2204		66		2270		59	
	6	2201		66		2235		58	
	6	2233	2212	71	67	2275	2260	59	58
	6,2	2203		76		2230		62	
	6,2	2175		74		2246		63	
	6,2	2242	2207	73	74	2265	2247	62	62
	6,6	2192		83		2261		70	
N2	6,6	2204	2198	70	76	2259	2260	56	63
	5,8	2195		76		2276		61	
	5,8	2200	2198	73	75	2278	2277	62	61
	6	2173		82		2255		71	
	6	2206		81		2274		72	
	6	2116		72		2176		60	
	6	2198	2173	71	76	2260	2241	62	67
	6,3	2184		68		2251		54	
N3	6,3	2183	2184	76	72	2245	2248	69	62
	6,4	2213		69		2284		67	
	6,4	2195		78		2267		57	
	6,4	2195		76		2253		59	
	6,4	2227		75		2293		52	
	6,4	2202	2207	76	75	2258	2271	67	60
	6	2208		68		2281		65	
	6	2157		71		2228		58	
S1	6	2199	2188	72	70	2244	2251	64	63
	6,2	2186		70		2261		57	
	6,2	2224		76		2289		72	
	6,2	2181		78		2234		69	
	6,2	2179	2193	69	73	2233	2254	56	63
	6,4	2219		63		2282		52	
	6,4	2227		79		2291		68	
	6,4	2232	2226	64	69	2307	2294	57	59
S2	6	2204		81		2259		70	
	6	2137	2171	75	78	2193	2226	63	67
	6,2	2202		70		2260		56	
	6,2	2156		76		2239		63	
	6,2	2153	2171	77	74	2235	2245	65	61
	6,4	2183		67		2257		56	
	6,4	2200		80		2276		67	
	6,4	2168	2184	81	76	2246	2260	64	62
S6	6,2	2196		83		2278		68	
	6,2	2209		79		2287		66	
	6,2	2194	2200	76	79	2272	2279	65	66
	6,4	2202		81		2273		75	
	6,4	2203		74		2266		58	
	6,4	2216	2207	75	77	2286	2275	68	67
	6,6	2224	2224	70	70	2304	2304	55	55
	6,2	2202		82		2269		67	
S6	6,2	2215		74		2278		52	
	6,2	2134	2184	76	78	2216	2254	63	61
	6,4	2241		76		2316		67	
	6,4	2227		80		2309		69	
	6,4	2208	2225	77	77	2283	2303	63	66
	6,6	2220	2220	75	75	2293	2293	63	63

N1

Massa:	SMA 16	
Sideaine:	B-80	1020 kg/m <sup>3</sup>
Kivi:	Teisko 96	2681 kg/m <sup>3</sup>
Täytejauhe:	N 1	2770 kg/m <sup>3</sup>
Lisäaineet:	Arbo	0,4 %

SAP (%)	TJ-pit. (%)	Teor. tih. (kg/m <sup>3</sup> )	Ilma (g)	Vesi (g)	P-kuiva (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	TT (%)	KAT (%)	TA (%)	Keskiarvot		
										TT (%)	KAT (%)	TA (%)
5,8	8,2	2455	2041,5	1184,3	2043,1	2377	3,2	16,7	81,0			
5,8	8,2	2455	2000,2	1156,8	2003,5	2362	3,8	17,2	78,0	3,5	17,0	79,5
6	8,2	2448	2006,2	1161,7	2008,9	2368	3,3	17,2	81,0			
6	8,2	2448	2013,3	1163,3	2017,7	2356	3,7	17,6	78,8			
6	8,2	2448	2018,2	1169,7	2019,9	2374	3,0	17,0	82,2			
6	8,2	2448	2013,7	1165	2016,5	2365	3,4	17,3	80,4	3,4	17,3	80,6
6,4	8,2	2433	2028,2	1164,8	2031,2	2341	3,8	18,5	79,5			
6,4	8,2	2433	2014,3	1152,6	2016,3	2332	4,2	18,8	77,9			
6,4	8,2	2433	2041,9	1176	2044,5	2351	3,4	18,1	81,3	3,8	18,5	79,6

N1A

Massa:	SMA 16	
Sideaine:	B-80	1020 kg/m <sup>3</sup>
Kivi:	Teisko 96	2681 kg/m <sup>3</sup>
Täytejauhe:	N 1A	2760 kg/m <sup>3</sup>
Lisäaineet:	Arbo	0,4 %

SAP (%)	TJ-pit. (%)	Teor. tih. (kg/m <sup>3</sup> )	Ilma (g)	Vesi (g)	P-kuiva (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	TT (%)	KAT (%)	TA (%)	Keskiarvot		
										TT (%)	KAT (%)	TA (%)
6	11,9	2450	2014,4	1168,7	2017,5	2373	3,1	17,1	81,8			
6	11,9	2450	2011,8	1164,8	2014	2369	3,3	17,2	80,9			
6	11,9	2450	2022,9	1177,8	2023,8	2391	2,4	16,4	85,5	2,9	16,9	82,7
6,3	11,9	2439	2021,7	1160,8	2023,5	2343	3,9	18,4	78,8			
6,3	11,9	2439	2004,3	1151,4	2006	2345	3,8	18,3	79,1			
6,3	11,9	2439	2039,6	1185,1	2040,2	2385	2,2	16,9	87,1	3,3	17,9	81,6
6,6	11,9	2428	2026,6	1170,5	2027,2	2366	2,6	17,9	85,7			
6,6	11,9	2428	2021,4	1160,2	2023	2343	3,5	18,7	81,2	3,0	18,3	83,5

N2

Massa:	SMA 16	
Sideaine:	B-80	1020 kg/m3
Kivi:	Teisko 96	2681 kg/m3
Täytejauhe:	N 2	2760 kg/m3
Lisäaineet:	Arbo	0,4 %

SAP (%)	TJ-pit. (%)	Teor. tih. (kg/m³)	Ilma (g)	Vesi (g)	P-kuiva (g)	Tiheys (kg/m³)	TT (%)	KAT (%)	TA (%)	Keskiarvot		
										TT (%)	KAT (%)	TA (%)
5,8	10,3	2456	2011,9	1163,5	2015,6	2361	3,9	17,3	77,7			
5,8	10,3	2456	1995,4	1153,8	1998,8	2361	3,8	17,3	77,7	3,9	17,3	77,7
6	10,3	2449	2025,7	1167	2028,4	2352	4,0	17,8	77,8			
6	10,3	2449	2013,3	1169	2014,5	2381	2,8	16,8	83,6			
6	10,3	2449	1993,2	1144,1	1997	2337	4,6	18,3	75,1			
6	10,3	2449	2030,4	1174,6	2033,2	2365	3,4	17,3	80,3	4,0	17,8	77,7
6,3	10,3	2438	1999,6	1154,9	2003,1	2357	3,3	17,9	81,6			
6,3	10,3	2438	2012,7	1161,9	2016,9	2354	3,4	18,0	80,9	3,4	17,9	81,2
6,4	10,3	2434	2027,5	1173,5	2029,8	2368	2,7	17,6	84,5			
6,4	10,3	2434	2024,8	1172	2027,5	2367	2,8	17,6	84,3	2,7	17,6	84,4

N3

Massa:	SMA 16	
Sideaine:	B-80	1020 kg/m3
Kivi:	Teisko 96	2681 kg/m3
Täytejauhe:	N 3	2750 kg/m3
Lisäaineet:	Arbo	0,4 %

SAP (%)	TJ-pit. (%)	Teor. tih. (kg/m³)	Ilma (g)	Vesi (g)	P-kuiva (g)	Tiheys (kg/m³)	TT (%)	KAT (%)	TA (%)	Keskiarvot		
										TT (%)	KAT (%)	TA (%)
6	15,4	2450	2023,9	1174,2	2026	2376	3,0	17,0	82,1			
6	15,4	2450	1996,9	1152,7	1996,9	2365	3,5	17,4	80,0			
6	15,4	2450	2025,5	1173,6	2027,1	2373	3,2	17,1	81,6	3,2	17,2	81,2
6,2	15,4	2443	1998,6	1153,3	1999,3	2362	3,3	17,7	81,3			
6,2	15,4	2443	2039,6	1178	2040,6	2364	3,2	17,6	81,7			
6,2	15,4	2443	2021,7	1164,6	2024,9	2350	3,8	18,1	78,9			
6,2	15,4	2443	2012,3	1160,3	2016,1	2351	3,8	18,1	79,2	3,5	17,9	80,3
6,4	15,4	2436	2029,6	1174,8	2030,7	2371	2,7	17,5	84,9			
6,4	15,4	2436	2029,1	1174	2031,2	2367	2,8	17,7	84,0			
6,4	15,4	2436	2024,2	1171,1	2024,9	2371	2,7	17,5	84,8	2,7	17,6	84,6



## S1

Massa:	SMA 16	
Sideaine:	B-80	1020 kg/m <sup>3</sup>
Kivi:	Teisko 96	2681 kg/m <sup>3</sup>
Täytejauhe:	S 1	2700 kg/m <sup>3</sup>
Lisäaineet:	Arbo	0,4 %

SAP (%)	TJ-pit. (%)	Teor. tih. (kg/m <sup>3</sup> )	Ilma (g)	Vesi (g)	P-kuiva (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	TT (%)	KAT (%)	TA (%)	Keskiarvot		
										TT (%)	KAT (%)	TA (%)
6	10	2444	2006,8	1163,4	2009,2	2373	2,9	16,9	82,7			
6	10	2444	2014,4	1155	2025,6	2314	5,3	18,9	71,9	4,1	17,9	77,3
6,2	10	2437	2022,4	1168,1	2025,1	2360	3,1	17,5	82,0			
6,2	10	2437	2053,6	1184,4	2059,2	2348	3,7	17,9	79,6			
6,2	10	2437	2008,6	1156,2	2018,8	2329	4,4	18,6	76,1	3,7	18,0	79,2
6,4	10	2429	2020,7	1165,6	2024,3	2353	3,1	17,9	82,5			
6,4	10	2429	2029,5	1173	2032,1	2362	2,8	17,6	84,3			
6,4	10	2429	2037,9	1179,7	2043,2	2360	2,9	17,7	83,8	2,9	17,7	83,5

## S2

Massa:	SMA 16	
Sideaine:	B-80	1020 kg/m <sup>3</sup>
Kivi:	Teisko 96	2681 kg/m <sup>3</sup>
Täytejauhe:	S 2	2700 kg/m <sup>3</sup>
Lisäaineet:	Arbo	0,4 %

SAP (%)	TJ-pit. (%)	Teor. tih. (kg/m <sup>3</sup> )	Ilma (g)	Vesi (g)	P-kuiva (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	TT (%)	KAT (%)	TA (%)	Keskiarvot		
										TT (%)	KAT (%)	TA (%)
6,2	10,7	2437	2023,1	1167,7	2026,3	2356	3,3	17,6	81,3			
6,2	10,7	2437	2020,4	1167,7	2023,2	2362	3,1	17,4	82,3			
6,2	10,7	2437	2027,9	1173,9	2033	2360	3,1	17,5	82,1	3,2	17,5	81,9
6,4	10,7	2430	2005,5	1164,3	2007,9	2377	2,1	17,1	87,4			
6,4	10,7	2430	2019,4	1164,1	2022	2354	3,1	17,9	82,6			
6,4	10,7	2430	2020,6	1166	2022,8	2358	2,9	17,7	83,5	2,7	17,6	84,5
6,6	10,7	2422	2027,2	1171	2027,9	2366	2,3	17,6	86,8	2,3	17,6	86,8

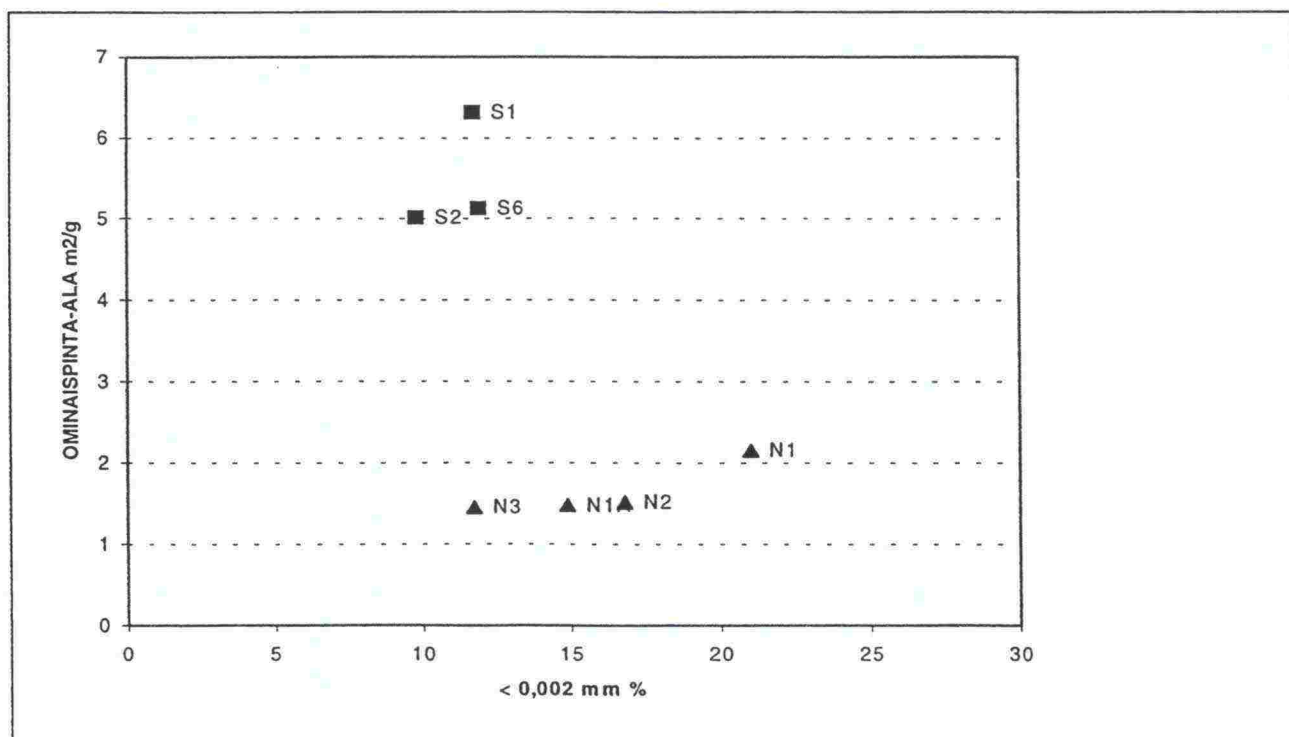
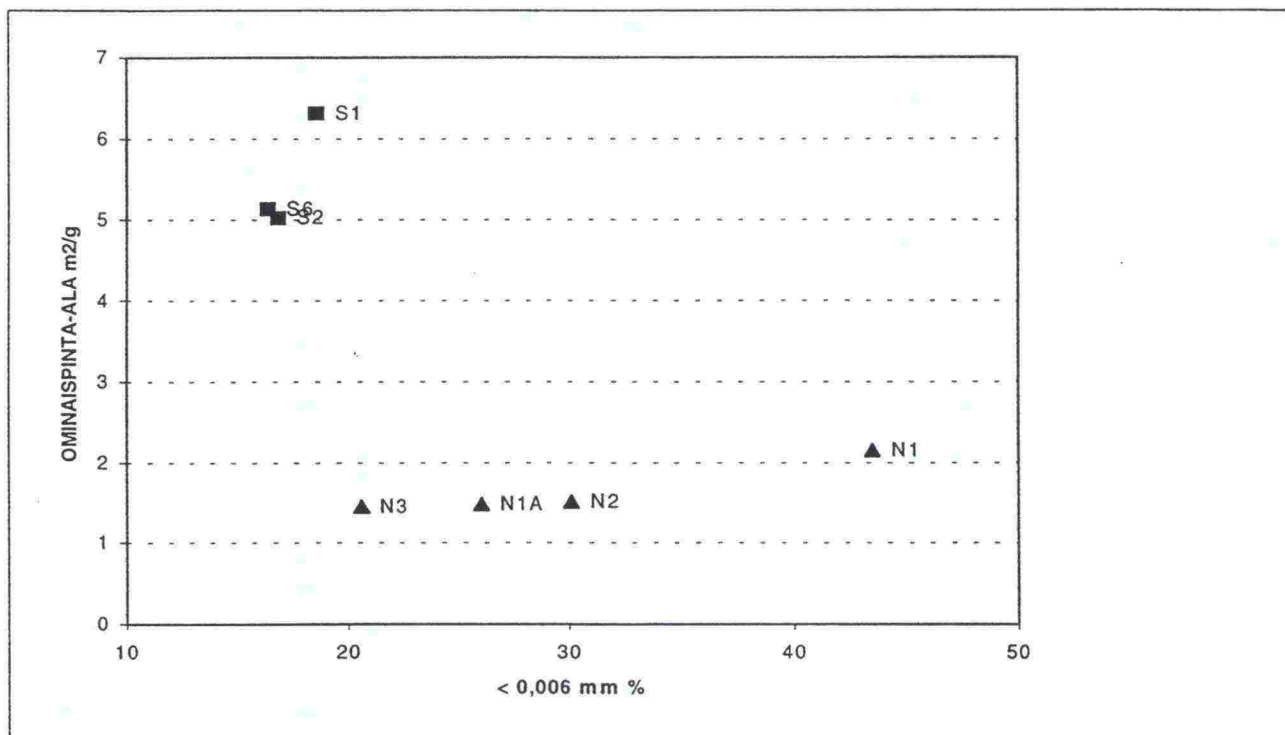
S6

Massa:	SMA 16	
Sideaine:	B-80	1020 kg/m <sup>3</sup>
Kivi:	Teisko 96	2681 kg/m <sup>3</sup>
Täytejauhe:	S 6	2710 kg/m <sup>3</sup>
Lisäaineet:	Arbo	0,4 %

SAP (%)	TJ-pit. (%)	Teor. tih. (kg/m <sup>3</sup> )	Ilma (g)	Vesi (g)	P-kuiva (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	TT (%)	KAT (%)	TA (%)	Keskiarvot		
										TT (%)	KAT (%)	TA (%)
6,2	10,2	2437	2030,2	1174,3	2033,3	2363	3,0	17,4	82,6			
6,2	10,2	2437	2032,1	1178	2036,2	2368	2,9	17,2	83,5			
6,2	10,2	2437	2035,4	1174,1	2040,2	2350	3,6	17,9	79,9	3,2	17,5	82,0
6,4	10,2	2430	2019,3	1172,2	2020	2382	2,0	16,9	88,2			
6,4	10,2	2430	2018,5	1171,8	2020,8	2378	2,2	17,1	87,3			
6,4	10,2	2430	2016,5	1169,6	2021,1	2368	2,6	17,4	85,3	2,2	17,1	87,0
6,6	10,2	2423	2028,5	1170,9	2030,2	2361	2,6	17,9	85,6	2,6	17,9	85,6

HIENO-AINES	NÄYTE NO.	HALKAISUVETOLUJUUS +10 °C, kN/m <sup>2</sup>		
		ilmasäilytys	vesisäilytys	suolavesisäilytys
Kalkkikivijauhe N 1	1 2 3	1355	1504	1231
	4 5 6	1204	1434	1355
	7 8 9	1343	1445	1456
	10 11 12	1470	1411	1226
	ka (kh)	1343 (109)	1449 (40)	1317 (110)
Kalkkikivijauhe N 1A	13 14 15	1363	1195	1347
	16 17 18	1228	1231	1290
	19 20 21	1483	1471	1281
	22 23 24	1300	1282	1315
	ka (kh)	1344 (108)	1295 (123)	1308 (30)
Kalkkikivijauhe N 2	25 26 27	1300	1599	1531
	28 29 30	1266	1419	1445
	31 32 33	1310	1410	1474
	34 35 36	1664	1422	1344
	ka (kh)	1385 (187)	1463 (91)	1449 (78)
Kalkkikivijauhe N 3	37 38 39	1673	1338	1595
	40 41 42	1451	1365	1332
	43 44 45	1579	1156	1240
	46 47 48	1493	1343	1182
	ka (kh)	1549 (98)	1301 (97)	1337 (183)
Kalkkikivijauhe S 1	49 50 51	1429	1456	1408
	52 53 54	1412	1481	1335
	55 56 57	1578	1377	1177
	58 59 60	1370	1443	1289
	ka (kh)	1447 (91)	1439 (44)	1302 (97)
Kalkkikivijauhe S 2	61 62 63	1752	1076	925
	64 65 66	1291	1134	1335
	67 68 69	1861	1210	1376
	70 71 72	1668	1298	1247
	ka (kh)	1643 (248)	1180 (96)	1221 (204)
Kalkkikivijauhe S 6	73 74 75	1703	1377	1462
	76 77 78	1758	1389	1355
	79 80 81	1862	1350	1113
	82 83 84	-	1383	1345
	ka (kh)	1774 (81)	1375 (17)	1319 (147)

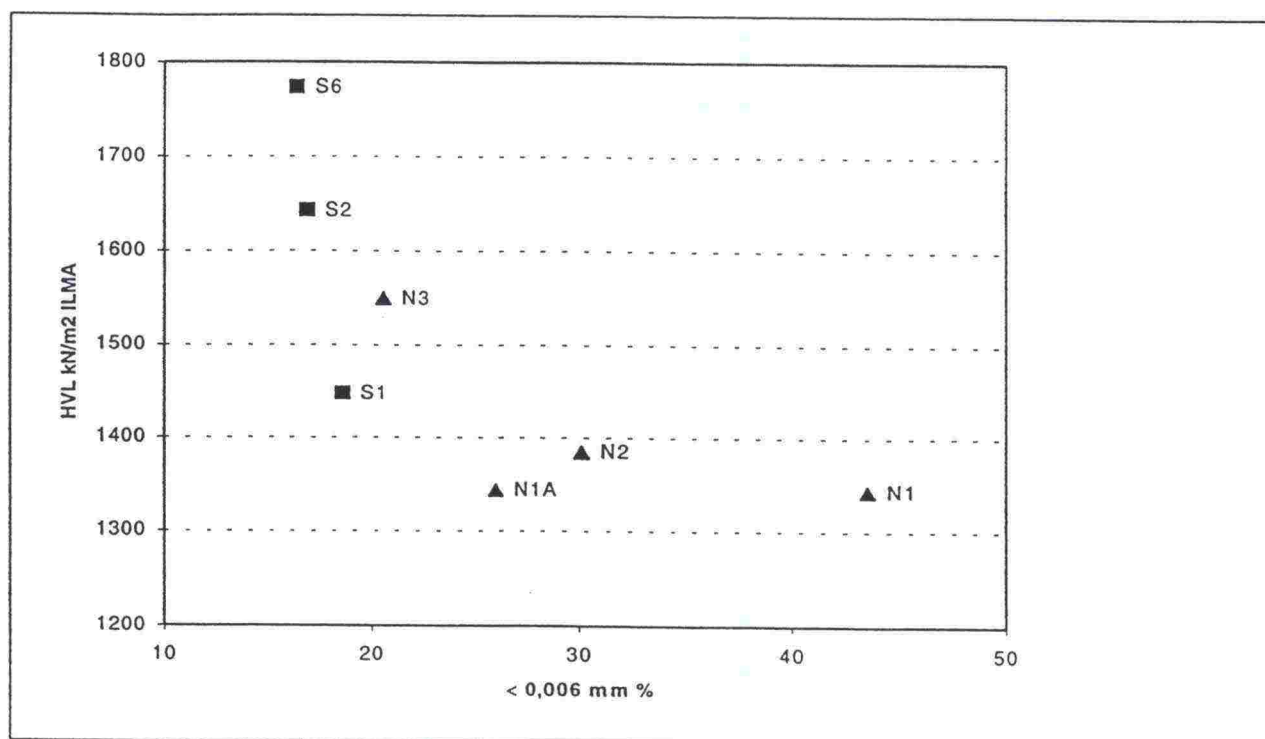
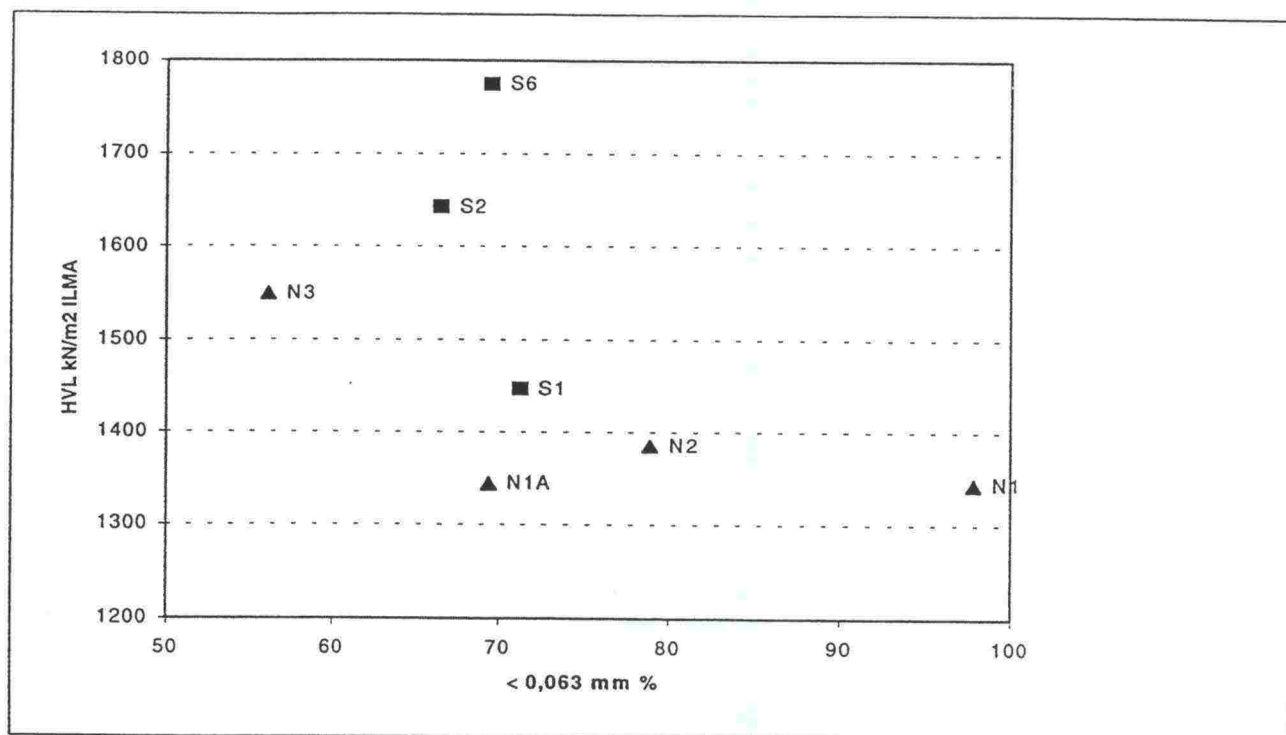
Kalkkikivijauheen ominaispinta-alan ja rakeisuuden välinen korrelaatio



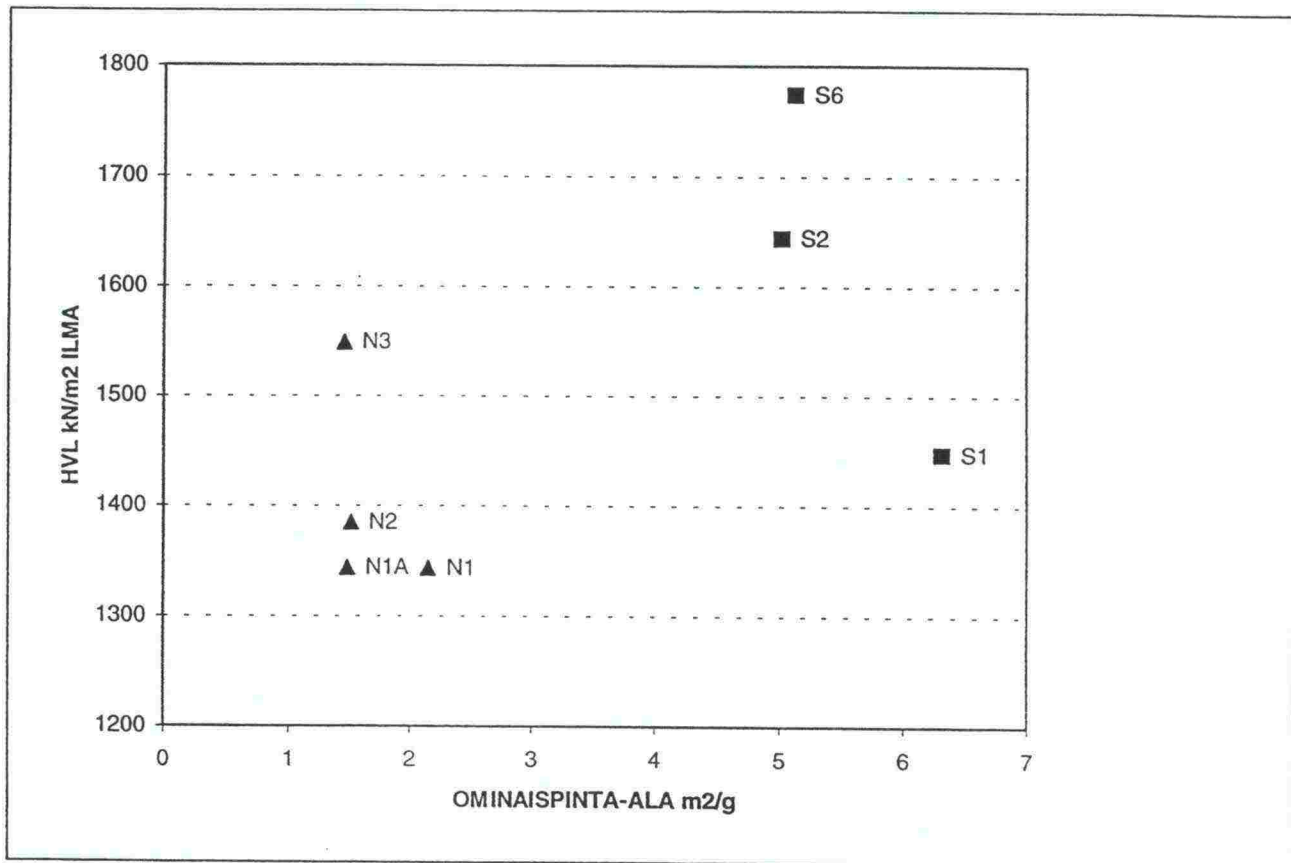


# LIITE 5

Kalkkikivijauheen rakeisuuden ja ilmasäilytteisten koekappaleiden halkaisuvetolujuuksien välinen korrelaatio



Kalkkikivijauheen ominaispinta-alan ja ilmasäilytteisten koekappaleiden halkaisuvetolujuuksien välinen korrelaatio



## TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 13/1997 Tieliikenneolojen kokeminen Suomessa. Henkilö- ja kuorma-autoilijoiden mielipiteet tienpidon kehittämistarpeista. TIEL 3200460
- 14/1997 Vuoropuheluopas. TIEL 3200461
- 15/1997 Erikoiskovabitumistabilointikokeilut. TIEL 3200462
- 16/1997 Tiekokemus, tierakenteet ja taide. TIEL 3200463
- 17/1997 Autoilukokemus; Mekanisoitu liike ja virtualisoituva maisema. TIEL 3200464
- 18/1997 Syvästabiloinnin mitoitusohje. TIEL 3200465
- 19/1997 PAB-V-päällystetutkimukset 1996. TIEL 3200466
- 20/1997 Liikenne ja maankäyttö. TIEL 3200467
- 21/1997 Tien suunnittelun ja rakennussuunnittelun kehittäminen. Kehittämistarpeita koskeva selvitys. TIEL 3200468
- 22/1997 Muuttuvien keliopasteiden vaikutukset kuljettajan toimintaan. TIEL 3200469
- 23/1997 Masuunihiekan käyttö päällysrakennekerroksissa. TIEL 3200470
- 24/1997 Haja-asutusalueiden vetovoimatekijät ja asukkaiden liikkumiskäyttäytyminen TIEL 3200471
- 25/1997 Ajokäyttäytyminen leveäkaistaisella moottoriliikennetiellä vt 12 Lahti - Uusikylä. TIEL 3200472
- 26/1997 Tavallisen ja leveäkaistaisen moottoriliikennetien liikennevirran ominaisuudet; Vt 12 Lahti-Uusikylä. TIEL 3200473
- 27/1997 Selvitys lin osayleiskaavoituksen ja vt 4:n yleissuunnittelun yhteensovittamisesta. TIEL 3200474
- 28/1997 Geotekniikan informaatiojulkaisuja: Tien kevennysrakenteet. TIEL 3200475
- 29/1997 Tielaitoksen ympäristöraportti 1996. TIEL 3200411-97
- 30/1997 Teiden pohjavesisuojausissa käytettävien maatiivisteiden vedenläpäisevyyden määrittäminen. TIEL 3200476
- 31/1997 Saksa ja Hollanti: toimivat liikenteen välttämisen strategiat. TIEL 3200477
- 32/1997 Simulointi liikenteen telematiikan vaikutusten tutkimusvälineenä. TIEL 3200478
- 33/1997 Pyöräilyn ja joukkoliikenteen yhdistäminen. Keskieurooppalaisten ratkaisujen soveltaminen Suomeen. TIEL 3200479
- 34/1997 Kiviaineksen raemuodon vaikutus päällysteen kulutuskestävyyteen. Minikoetien talvien 1995-1996 ja 1996-1997 tulokset. TIEL 3200480
- 35/1997 Palaturpeen käyttö tierakenteessa. TIEL 3200481
- 36/1997 Kotka-Hamina sääohjatun tien yhteiskuntataloudellisuus. TIEL 3200482